

# **Белорусский национальный технический университет**

Факультет энергетического строительства

Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

«Гидротехническое и энергетическое  
строительство, водный транспорт  
и гидравлика»

\_\_\_\_\_ Качанов И.В.

\_\_\_\_\_ 2019 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета энергетического  
строительства

\_\_\_\_\_ Ивашечкин В.В.

— \_\_\_\_\_ 2019 г.

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**Технология обслуживания, ремонта и консервация судов**

для специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного  
транспорта»

Составитель: доцент, к.т.н. Ключников В.А.

Рассмотрено и утверждено

на заседании совета факультета энергетического строительства

27 мая 2019 г.

протокол N 9

## **Перечень материалов**

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) содержит основные сведения в области технологии обслуживания, ремонта и консервации судов. В ЭУМК приведены основные правила и технология ремонта судов, методы дефектации судовых механизмов, методы восстановления и повышения срока службы деталей и корпуса судна, методы консервации судов.

ЭУМК содержит четыре раздела. В теоретическом разделе представлен лекционный материал в соответствии с основными разделами и темами учебной программы. В практическом разделе изложены вопросы и материалы к практическим занятиям. Раздел контроля знаний включает вопросы, выносимые на экзамен по дисциплине «Технология обслуживания, ремонта и консервация судов». Вспомогательный раздел содержит учебную программу изучаемой дисциплины, перечень рекомендуемой литературы для изучения данной учебной дисциплины.

## **Пояснительная записка**

*Цели ЭУМК* – самостоятельная теоретическая и практическая подготовка студентов в сфере судостроения, технической эксплуатации и ремонта объектов водного транспорта Республики Беларусь; освоение ими методов оценки технического состояния корпуса, механизмов и систем, знание основных принципов технического надзора за состоянием судов, умение ориентироваться в технико-эксплуатационных характеристиках судов, связанных с их классом и назначением, допускаемыми нормами эксплуатации.

### *Особенности структурирования и подачи учебного материала*

Учебно-методический комплекс содержит методические материалы для самостоятельного изучения дисциплины, включая наименования и содержание тем лекций.

*Рекомендации по организации работы с ЭУМК* – рекомендуется использовать при изучении дисциплины студентам дневной и заочной формы обучения.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ      КУРС ЛЕКЦИЙ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 ТЕХНОЛОГИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ,РЕМОНТА КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ СУДОВ .....	8
1.1 Старение судовых конструкций и машин.....	8
1.1.1 Основы теории изнашивания.....	8
1.1.2 Методы оценки износов .....	155
1.1.3 Технический надзор .....	17
1.1.4 Основные показатели и расчеты надежности машин и судовых конструкций.....	18
1.2 Правила ремонта судов.....	24
1.2.1 Общие положения .....	24
1.2.2 Классификация, периодичность и объемы ремонта, модернизация и переоборудование судов .....	25
1.2.3 Планирование ремонта флота.....	28
1.2.4 Особенности заключения договоров на ремонт судов .....	29
1.2.5 Подготовка к ремонту судов.....	31
1.3 Методы дефектации судовых механизмов .....	34
1.3.1 Классификация и причины образования дефектов. Классификация дефектов .....	34
1.3.2 Дефектоскопия. Проверки деталей и узлов. Методы дефектоскопии.....	36
1.3.3 Отклонения формы и расположения поверхностей .....	37
1.3.4 Дефектоскопия, основанная на измерениях.....	39
1.3.5 Технические средства дефектоскопии.....	51
1.3.6 Физические неразрушающие методы контроля .....	50
1.4 Судоремонтные предприятия.....	69
1.4.1 Структура и организация судоремонтного завода .....	69
1.4.2 Организация ремонта судна на судоремонтном заводе. Обслуживание судов в период ремонта.....	75
1.4.3 Маршрутная технология ремонта судна .....	74
1.4.4 Методы ремонта.....	75
1.4.5 Единая система технологической подготовки производства.....	77
1.4.6 Типизация технологических процессов в машиноремонте.....	80
1.4.7 Безопасность труда при работах.....	82
1.5 Ремонт корпусов судов .....	83
1.5.1 Способы и сооружения для обнажения подводной части судов при ремонте.....	83
1.5.2 Износы корпусных конструкций.....	86
1.5.3 Остаточные деформации и повреждения корпусов .....	87
1.5.4 Организация дефектации судов при ремонте .....	89

1.5.5	Обследование и оценка технического состояния корпусных конструкций.....	89
1.5.6	Ремонт корпусов судов заменой связей.....	91
1.5.7	Правка судовых конструкций.....	94
1.5.8	Ремонт корпусных конструкций подкреплением.....	96
1.5.9	Неметаллические покрытия при ремонте корпусов. Испытания корпусов после ремонта.....	98
1.5.10	Антикоррозионная защита корпусов судов при ремонте.....	99
1.6	Методы восстановления и повышения срока службы деталей и корпуса судна.....	106
1.6.1	Методы восстановления.....	106
1.6.2	Упрочнение деталей.....	122
1.6.3	Использование эффекта избирательного переноса.....	132
1.7	Ремонт дизелей.....	130
1.7.1	Технологическая подготовка дизелей к ремонту. Структурная схема технологического процесса капитального ремонта судовых дизелей.....	134
1.7.2	Мойка и очистка деталей дизелей при ремонте.....	136
1.7.3	Ремонт деталей дизелей.....	142
1.8	Ремонт движительно-рулевых комплексов.....	179
1.8.1	Ремонт гребных винтов.....	179
1.8.2	Ремонт направляющих насадок.....	180
1.8.3	Статическое и динамическое уравнивание гребных винтов после ремонта.....	182
1.8.4	Модернизация гребных винтов при ремонте.....	184
1.8.5	Сборка винтов и гребных валов при ремонте.....	186
2	КОНСЕРВАЦИЯ СУДОВ. МЕТОДЫ КОНСЕРВАЦИИ.....	190
2.1	Консервация защитными смазками и маслами. Подготовка поверхностей перед консервацией.....	190
2.1.1	Подготовка поверхностей перед консервацией.....	190
2.1.2.	Подготовка масел и смазок.....	193
2.1.3.	Технология применения масел и смазок.....	194
2.2	Статическое осушение воздуха.....	195
2.2.1	Влияние относительной влажности на коррозию.....	195
2.2.2	Способы осушения воздуха.....	196
2.2.3	Силикагель.....	198
2.2.4	Герметизация осушаемых объемов.....	204
2.2.5	Подготовка и процесс статического осушения воздуха.....	204
2.3	Динамическое осушение воздуха.....	207
2.3.1	Воздухоосушительные установки.....	207
2.3.2	Распределение воздуха по судовым помещениям.....	213
2.3.3	Особенности консервации материальной части при динамическом осушении воздуха.....	216

2.3.4	Контроль за состоянием материальной части и за работой воздухоосушительных установок.....	218
2.4	Защитные атмосферы.....	220
2.4.1	Получение защитных атмосфер.....	220
2.4.2	Применение защитных атмосфер для консервации. Вакуумная установка.....	220
2.4.3	Контроль за состоянием оборудования, законсервированного в среде защитных атмосфер .....	224
2.5	Ингибиторы коррозии.....	225
2.5.1	Классификация ингибиторов коррозии .....	225
2.5.2	Нелетучие и контактные ингибиторы коррозии.....	226
2.5.3	Летучие ингибиторы коррозии .....	232
2.5.4	Способы применения ингибиторов коррозии.....	234
2.6	Электрохимическая защита корпусов кораблей.....	235
2.6.1	Сущность электрохимической защиты.....	235
2.6.2	Протекторная защита.....	236
2.6.3	Катодная защита.....	239
2.6.4	Электрокоррозия и борьба с ней .....	242
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....		242
РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ .....		299
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....		301

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## КУРС ЛЕКЦИЙ

### ВВЕДЕНИЕ

В технологии судоремонта как учебной дисциплине рассматриваются современные методы ремонта судов, способствующие в определенной степени решению основной задачи технической эксплуатации флота – продлению эксплуатационного периода судов.

**Судоремонт** является составной частью системы технической эксплуатации флота. *Задачей судоремонта* является сокращение ремонтного времени, которое в значительной степени определяет продолжительность эксплуатационного периода судов.

**Под ремонтом судна** понимается комплекс операций по восстановлению исправного или работоспособного состояния судна на определенный интервал времени. В Российской Федерации виды и назначение ремонтов судов речного и морского флота определяет «Положение о технической эксплуатации морского флота». В Республике Беларусь положение, регламентирующее виды и назначение ремонтов пока отсутствует.

*В соответствии с Положением ремонт морского флота* производится по планово-предупредительной системе, которая предусматривает следующие виды планово-предупредительного ремонта:

- для судовых конструкций и технических средств: текущий и капитальный;
- для судов в целом: заводской и доковый.

**Текущий ремонт** судовых конструкций и технических средств осуществляется с целью гарантированного обеспечения их работоспособности и заключается в восстановлении или замене отдельных (быстроизнашивающихся) элементов, кроме базовых. К текущему ремонту относятся: переборка судовых технических средств, очистка и окраска судовых конструкций, переборка и устранение неплотностей судовых трубопроводов и т. д.

**Капитальный ремонт** судовых конструкций и технических средств осуществляется с целью восстановления их исправного состояния и полного или близкого к полному восстановлению ресурса (срока службы) с восстановлением или заменой любых элементов, включая базовые. К капитальному ремонту относятся замена и ремонт судовых конструкций и технических средств с изменением конструктивных размеров взаимосвязанных деталей.

**Заводской ремонт** судна состоит в восстановлении его исправного технического состояния после определенного периода эксплуатации и заключается в восстановлении любых элементов судна, включая базовые.

В зависимости от технического состояния судна в составе заводского ремонта выполняются работы по текущему и капитальному ремонту судовых конструкций и технических средств.

**Доковый ремонт судна** осуществляется на судоподъемном сооружении и заключается в восстановлении исправного технического состояния его подводной части. В процессе докового ремонта производится восстановление средств защиты корпуса от коррозии и обрастания и устранение выявленных дефектов и повреждений подводной части корпуса судна, движительно-рулевого комплекса, донно-бортовой арматуры и других элементов подводной части судна, ремонт которых на плаву невозможен.

Для судов, на которые не распространяется планово-предупредительная система, предусматриваются поддерживающий и восстановительный ремонты.

Поддерживающий ремонт выполняется в конце срока службы судна и заключается в восстановлении его технического состояния до минимально необходимого уровня, обеспечивающего нормальную эксплуатацию в установленный период.

Восстановительный ремонт судна осуществляется после достижения им предельного состояния по решению Управления морского и речного транспорта Министерства транспорта и коммуникаций РБ.

После проведения восстановительного ремонта судно вводится в планово-предупредительную систему ремонтов.

Для устранения аварийных повреждений выполняют **аварийный ремонт**.

В настоящее время судоремонтное производство сосредоточено на судоремонтных заводах (СРЗ), находящихся в ведении Управления морского и речного транспорта.

Техническое обслуживание выполняется судовыми экипажами. Часть работ по техническому обслуживанию выполняют судоремонтные заводы.

Основные принципы организации, планирования и финансирования заводского ремонта и технического обслуживания судов, а также взаимоотношения между заказчиком и береговыми исполнителями определяются соответствующими положениями.

# 1. ТЕХНОЛОГИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РЕМОНТА КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ СУДОВ

## 1.1 Старение судовых конструкций и машин

### 1.1.1 Основы теории изнашивания

*Старение машин и судовых конструкций* – это процесс постепенного и непрерывного изменения эксплуатационных свойств, происходящий под воздействием механических, тепловых, электрических и других нагрузок, наличие которых определяется условиями эксплуатации судов и режимом работы машин.

Современное судно является сложным инженерным сооружением. Оно состоит из целого ряда корпусных конструкций, судовых машин, устройств и систем. Все эти конструкции, машины, устройства и системы, функционируя как единое целое, в эксплуатации подвергаются постепенному и непрерывному изменению своей работоспособности под действием механических нагрузок, физико-химических факторов и т.п. В результате такого старения элементы судна ухудшают или утрачивают функциональные свойства до такой степени, что дальнейшая эксплуатация судна становится невозможной или технически нецелесообразной.

Восстановление функциональных свойств изделий до работоспособного состояния требует проведения ремонтных работ.

Утрата изделием работоспособности вызывает так называемые **отказы**. Отказы по характеру проявления классифицируют на постепенные и внезапные.

**Постепенные отказы** появляются в результате закономерного изнашивания элементов изделий. Время наработки изделия на такой отказ с достаточной точностью можно прогнозировать.

**Внезапные отказы**, наоборот, проявляются мгновенно в форме повреждений или разрушений. Наработка на отказ в этом случае оказывается величиной случайной и прогнозированию не поддается.

Внезапные отказы приводят к необходимости проведения внеочередных освидетельствований судов и ремонта поврежденных элементов конструкций.

Процесс образования отказов во времени называют **изнашиванием**.

Результатом изнашивания является **износ**, который измеряют в весовых или линейных единицах.

Процесс изнашивания деталей сопровождается сложными физико-химическими явлениями в зависимости от материала и качества поверхностей сопряженных деталей, характера контакта, скорости, нагрузки и других факторов процесс изнашивания протекает неодинаково.

Интенсивность изнашивания в единицу времени характеризует **скорость  $\xi$  изнашивания**. Она представляет собой первую производную от износа  $W$  по времени  $t$ , т.е.

$$\xi = dW/dt \quad (1.1)$$



Для практических целей скорость изнашивания судовых механизмов определяют в микрометрах за 1000 ч работы.

Если износ деталей в микрометрах (мкм) обозначать буквой  $W$ , а среднюю скорость изнашивания (удельный износ в мкм/ч) через  $\xi_{\text{ср}}$ , то продолжительность работы детали  $t$ , ч, определится:

$$t = W / \xi_{\text{ср}} \quad (1.2)$$

**Износостойкость** – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое обратной скоростью изнашивания или интенсивности изнашивания (ГОСТ 23.002–78).

Если обозначить износостойкость детали через  $\rho$ , ч/мкм, то:

$$\rho = 1 / \xi \quad (1.3)$$

Износостойкость деталей зависит от многих факторов (качества материала и конструкции деталей, качества обработки, уровня технической эксплуатации механизма) и для судовых механизмов колеблется в пределах от долей миллимикрон до миллиметра за 1000 ч работы. Предельные износы сопряженных деталей можно установить расчетным путем или экспериментально в процессе стендовых испытаний механизмов, а скорость изнашивания – на основании большого числа систематизированных замеров износа деталей механизмов, находящихся в эксплуатации, обработанных методами математической статистики.

Средняя продолжительность срока службы соединения  $t_{\text{пр}}$ , тыс. ч, из двух деталей до предельного его износа определяется по формуле:

$$\Delta S_{\text{пр}} / (\xi_{1\text{ср}} + \xi_{2\text{ср}}) = (S_{\text{пр}} - S_{\text{ном}}) / (\xi_{1\text{ср}} + \xi_{2\text{ср}}) \quad (1.4)$$

где  $\Delta S_{\text{пр}}$  – предельное изменение зазора между трущимися поверхностями, мм;  
 $\xi_{1\text{ср}}$ ,  $\xi_{2\text{ср}}$  – средние скорости изнашивания соответственно первой и второй деталей, определяемые методами математической статистики, мм/тыс. ч;

$S_{\text{пр}}$  – предельный зазор в соединении, мм;

$S_{\text{ном}}$  – номинальный зазор в соединении, мм.

Наиболее важными узлами, влияющими на эксплуатационные показатели работы дизелей, являются цилиндро-поршневая и кривошипная группы. Износ втулок цилиндра, поршневых колец, деталей топливной аппаратуры и газораспределения главного судового дизеля сначала вызывает недопустимое уменьшение его мощности из-за прорывов газов в картер и перерасход топлива и масла, а затем уже наблюдается интенсивная скорость изнашивания этих деталей.

В головных, шатунных и коренных вкладышах, у шеек коленчатых и распределительных валов, наоборот, сперва появляется увеличение зазоров,

овальности, раскепов и несоосности и лишь в дальнейшем заметно нарушаются условия трения, вызывающие повышение потери мощности двигателя.

Предельными называются такие износы деталей, когда дальнейшая их эксплуатация без соответствующего ремонта или замены становится недопустимой. Предельные износы деталей механизмов регламентируются величиной зазоров в их подвижных соединениях. По времени достижения предельных износов детали дизеля могут быть разбиты на три группы. *К первой группе* следует отнести такие быстроизнашивающиеся детали, как поршневые кольца, впускные и выпускные клапаны, распылители форсунок и др. *Ко второй группе* – цилиндрические втулки, поршни, пальцы и втулки поршневых головок шатунов, плунжерные пары топливных насосов и др. *К третьей группе* следует отнести детали узлов распределительного и коленчатого валов, базовых деталей (гнезда под коренные подшипники, плоскости разъема рамы и блока, посадочные бурты под втулки и др.).

Так, например, средняя скорость изнашивания цилиндрических втулок среднеоборотных дизелей колеблется в пределах от 40 до 80 мкм/тыс. ч, а кривошипных шеек коленчатого вала от 8 до 15 мкм/тыс. ч в зависимости от типа судна (грузовое, буксирное, пассажирское), района плавания, качества изготовления деталей, условий эксплуатации и других причин.

Продолжительность работы дизеля до появления предельных износов у деталей первой группы характеризует период между текущими ремонтами. Нарботка до появления предельных износов у деталей второй группы определяет межремонтный период между средними ремонтами. Время образования предельных износов у третьей группы совместно с появлением предельных износов у первой и второй групп деталей и узлов характеризует длительность эксплуатации дизеля до капитального ремонта.

В соответствии с классической теорией изнашивания всегда выделяют (рисунок 1.1) три характерных периода в зависимости  $W = f(t)$  износа от времени эксплуатации:

1) период приработки при  $0 < t \leq t_{\text{пр}}$ , когда большая скорость изнашивания обуславливается интенсивным смятием, срезанием или истиранием микровыступов шероховатости трущихся поверхностей; это относительно не продолжительный период с весьма заметным износом  $W_{\text{пр}}$ ;

2) период нормальной эксплуатации при  $t_{\text{пр}} < t \leq t_3$ , когда полагают установившейся (постоянной) скоростью изнашивания деталей ( $\xi = \tan \alpha$  или  $\alpha = \arctg \xi$ ); по этой скорости изнашивания прогнозируют сроки службы сборочных единиц и износы за этот период;

3) период интенсивного изнашивания при  $t > t_3$ , сопровождающегося образованием внезапных отказов; дальнейшая эксплуатация сборочных единиц в этот период нежелательна (недопустима).

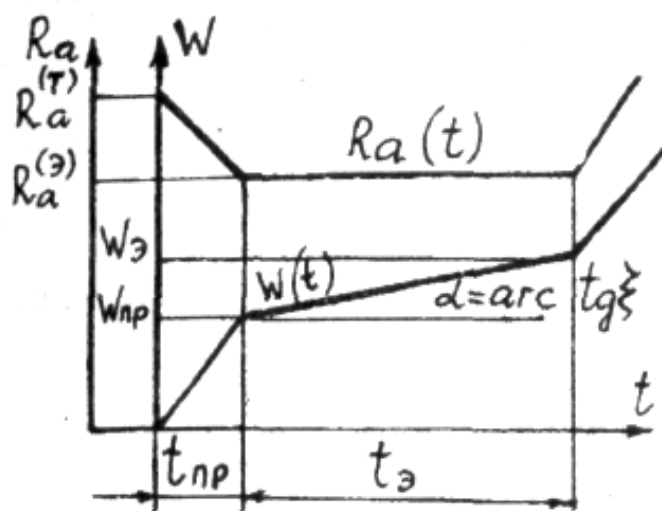


Рисунок 1.1 – Взаимосвязь износов и шероховатости поверхностей трения со сроком службы деталей

Первые два периода по продолжительности и характеру протекания физических процессов трения тесно связаны с микрорельефом трущихся поверхностей. В любом случае желательно, чтобы технологический микрорельеф возможно больше приближался к эксплуатационному. Это означает, что в период нормальной эксплуатации при технологическом микрорельефе  $R_a^{(T)}$ , соответствующем эксплуатационному  $R_a^{(Э)}$ , можно считать скорость изнашивания постоянной, которая устанавливается после приработки.

С другой стороны, в период приработки технологический микрорельеф качественно и количественно к эксплуатационному независимо от того  $R_a^{(T)} > R_a^{(Э)}$  или  $R_a^{(T)} < R_a^{(Э)}$ . Объясняется это тем, что в первом случае при  $R_a^{(T)} > R_a^{(Э)}$  чрезмерно большие микронеровности интенсивно изнашиваются, а во втором  $R_a^{(T)} < R_a^{(Э)}$  износ увеличивается из-за отсутствия на поверхности трения микрорезервуаров для удержания смазки.

Зависимость  $W = f(R_a)$  получена экспериментальным путем (рисунок 1.2). Она достаточно объективно показывает существование минимального износа  $W_{min}$  при некоторой шероховатости  $R_a^{(опт)}$ .

Отсюда следует вывод о том, что при изготовлении и ремонте деталей сборочных единиц, работающих в условиях трения скольжения важно обеспечивать технологические параметры микрорельефа, приближающимися к эксплуатационным  $R_a^{(Э)}$  или, что одно и то же, к  $R_a^{(опт)}$ .

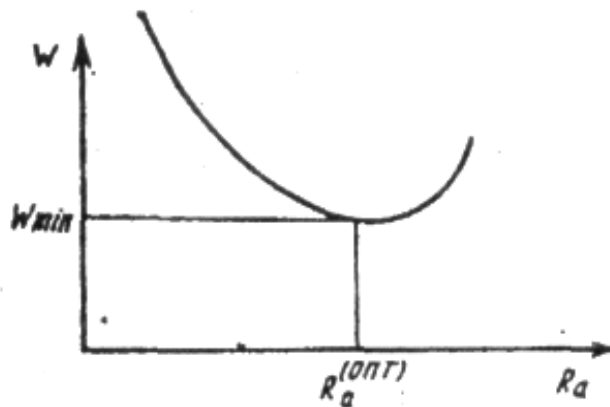


Рисунок 1.2 – Зависимость износа деталей от шероховатости поверхностей трения

**Интенсивность изнашивания судовых конструкций, деталей машин и механизмов, устройств и систем** существенно отличается не только по этим элементам судна, но и в составе отдельных сборочных единиц. Часто на практике возникают такие ситуации, при которых суда выводят из эксплуатации для ремонта или восстановления износившихся конструкций и машин, в то время как другие элементы этих же конструкций не требуют восстановления работоспособности. Отсутствие такой равно- и кратно износостойкости усложняет планирование и технологическую подготовку судоремонта.

В организационном отношении в смежных отраслях разработаны предложения по проведению ремонтных работ на основании оценки фактического состояния конструкций и машин. Так называемое техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию наиболее характерно для рыбопромысловых и морских судов, как часто находящихся на значительном удалении от ремонтных баз.

Отсюда следует, что одной из основных задач совершенствования судов должно являться повышение износостойкости судовых конструкций или машин в целом и обеспечение равно- или кратно-износостойкости основных деталей, срок службы которых предопределяет ресурс изделия.

**Классификация процессов изнашивания ГОСТ 23.002-78 устанавливает три основные группы изнашивания в машинах:**

- механическое;
- коррозионно-механическое;
- абразивное изнашивание элементов конструкций и машин.

Наиболее характерными для большинства отдельных деталей и сборочных единиц, машин и механизмов является **механическое изнашивание** как результат процессов трения, упругого и пластического взаимодействия контактирующих поверхностей и т.д.

В основе современной молекулярно-механической теории сухого и граничного трения лежит понятие дискретности контакта двух твердых и шероховатых тел. По этой теории внешнее трение осуществляется на отдельных пятнах контакта размером 0,1–30

мкм, которые распределены по поверхности взаимодействия неравномерно и сосредоточены на микровыступах реального рельефа.

Эти пятна контакта не остаются постоянными, а при увеличении удельных нагрузок последовательно изменяются и приводят к росту фактической площади соприкосновения. В результате между сближающимися телами образуются прочные связи межмолекулярного взаимодействия, которые называют адгезией.

**Механическое взаимодействие** разделяют на:

- упругое;
- пластическое контактирования;
- микрорезание.

Для уменьшения эффекта взаимодействия тел при трении применяют смазочные материалы в виде специальных масел и присадок. Смазочные материалы вступают в контакт с поверхностью металла и образуют химические соединения с малыми коэффициентами трения. Особое место в изучении процессов при трении занимает «**эффект безизносности**». Этот эффект заключается в избирательном растворении смазочными материалами, содержащими поверхностно-активные вещества, отдельных легирующих элементов, например, олова. Благодаря такому действию износостойкость пар трения существенно возрастает.

**Механическое изнашивание** деталей судовых механизмов приводит к увеличению зазоров в сборочных единицах, необходимости проведения дополнительных регулировок механизмов в эксплуатации и ремонтных работ.

Эффективными средствами снижения износов при трении являются повышение поверхностной твердости деталей, совершенствование смазки сборочных единиц и т.п.

**Абразивное изнашивание** можно рассматривать как разновидность механического взаимодействия, при котором поверхности трения или соприкосновения разрушаются твердыми частицами материалов. Эти частицы могут быть продуктами изнашивания (например, подшипники скольжения) или составляющими той среды, в которой работают механизмы (например, частицы песка в воде при эксплуатации судов на мелководье, взаимодействие дноуглубительных снарядов с грунтом и т.п.).

Интенсивность линейного изнашивания  $dW/ds$  при трении металла об абразивную поверхность определяется по формуле:

$$dW/ds = c_m p \quad (1.5)$$

где  $c_m$  – коэффициент, зависящий от свойства материала и истирающей способности поверхности;

$p$  – давление, Па.

Эта закономерность показывает, что абразивный износ прямо пропорционален пути трения (при прочих постоянных условиях). В некотором диапазоне скоростей, когда нет заметного нагрева, скорость линейного абразивного изнашивания:

$$\xi = dW/dt = c_m p v_{ск} \quad (1.6)$$

Эта закономерность показывает, что абразивный износ при прочих равных условиях зависит от скорости скольжения по поверхности трения. Для отожженных сталей и чистых металлов абразивный износ

$$W_0 = dW/ds = c_m p/H \quad (1.7)$$

а скорость изнашивания

$$\xi = dW/dt = c_m p v_{ск}/H \quad (1.8)$$

где  $H$  – твердость металла, НВ;  
 $p$  – давление, Па;  
 $v_{ск}$  – скорость скольжения, см/с.

Для термически обработанных сталей (после закалки и отпуска) абразивный износ:

$$W_{т.о} = dW/ds = c_m p / [(1 - \beta)H_0 + \beta H_{т.о}] \quad (1.9)$$

где  $H_0$  – твердость отожженной стали, НВ;  
 $c_m$  – коэффициент, зависящий от состава стали ( $\beta = 0 \div 1,0$ );  
 $H_{т.о}$  – твердость стали после термообработки, НВ.

Абразивные частицы находятся во взвешенном состоянии в воде, масле, воздействуют на поверхности трения в сопряжении, внедряются в более мягкие материалы и царапают более твердые сплавы. Так, например, попадая в баббитные или бронзовые подшипники, твердые частицы внедряются в них и царапают шейки валов.

Значительное количество деталей судовых механизмов требует замены или ремонта из-за механического взаимодействия их поверхностей, т.е. механического зацепления выступов на плохо обработанных поверхностях, взаимного внедрения металлов в процессе трения, царапин и надрезов на поверхности трущихся деталей под действием абразивных частиц, охрупчивания поверхностного слоя вследствие наклепа.

Отдельные детали судовых механизмов изнашиваются под действием химических и электрохимических процессов коррозии или одновременно действующих факторов механического и коррозионного износа, при этом появление продуктов коррозии усиливает и ускоряет механический износ.

**Коррозионное и коррозионно-механическое изнашивание** в наибольшей степени типично для судовых конструкций. При эксплуатации судовых дизелей оно проявляется у деталей, охлаждаемых водой, и происходит интенсивно особенно в условиях высоких вибраций деталей. Такой интенсификации способствует явление кавитации.

Информация о физико-химических процессах старения машин и конструкций позволяет установить закономерности износа, возникновение повреждений и поломок узлов и деталей. Изучение этих процессов дает возможность судить о скоростях изнашивания, долговечности отдельных деталей и узлов, причинах отказа в работе

машин, экономичности их эксплуатации. Разработаны и рекомендуются несколько **методов определения износа машин.**

***Наиболее часто используются следующие четыре метода оценки износа:***

- 1) по техническому состоянию машины в целом;
- 2) по техническому состоянию важнейших конструктивных элементов;
- 3) по сроку службы;
- 4) по объему выполненной работы или наработке машины.

В зависимости от состояния трущихся поверхностей и условий смазки между сопряженными поверхностями различают **два вида трения**: трение без смазочного материала и трение со смазочным материалом.

Трение двух поверхностей без смазки происходит при отсутствии каких-либо смазывающих материалов. Такой вид трения происходит при повышенных температурах на конкретных поверхностях, при этом возможна пластическая деформация поверхностных слоев, возникновение схватывания и катастрофического изнашивания. Трение возникает на поверхностях двух тел при наличии весьма тонкого масляного слоя, толщина которого измеряется в-десятых долях микрометра. Действие смазки при трении зависит как от вязкости масла, так и от присутствия в нем поверхностно-активных веществ.

Последние оказывают положительное влияние на интенсивность изнашивания при небольших нагрузках. При значительных нагрузках смазочная пленка разрушается и начинается процесс зацепления неровностей, возникновение микротрещин, пластическое деформирование трущихся поверхностей и разрушение.

В реальных узлах трения большинство сопряжений работает при неполной смазке: цилиндровая втулка-поршневое кольцо, палец-втулка верхней головки шатуна, клапан-направляющая втулка.

При трении без смазочного материала работают: тормозной барабан-колодка, диск-муфта сцепления, клапан-седло и др.

### ***1.1.2 Методы оценки износов***

На практике установление превалирующих износов деталей и сборочных единиц, а также соотношений между теми или иными видами изнашивания осуществляют на основании лабораторных или эксплуатационных наблюдений. Различная природа изнашивания корпусов судов, машин, устройств и систем предопределяет особенности подхода к оценке и изучению износов, так как в одних случаях изнашивание является процессом стохастическим, а в других подчиняется временным закономерностям.

Тогда, когда процессы изнашивания по своей природе являются случайными, а также тогда, когда стремятся получить интегральные представления о параметрах этих процессов, обычно обращаются к статистическому анализу износов судовых конструкций, машин и механизмов. При достаточной представительности исходной информации, а также обоснованном ранжировании факторов, влияющих на износ (условия эксплуатации, марки дизелей, сорт топлива и т.п.), параметры статистического анализа являются устойчивыми и пригодными для принятия прогнозных решений.

**Статистический анализ** ведут по специальным методикам на основании большого количества измерений фактических размеров деталей. Он требует довольно продолжительных наблюдений за эксплуатацией конструкций машин, а также значительных затрат на проведение измерений, сбор и обработку информации.

**В лабораторных условиях** при исследованиях износостойкости пар трения и проведении сравнительных испытаний используют различные инструментальные и радиометрические методы.

**К инструментальным методам** относят микрометрические и весовые измерения, методы исследования отработавшего масла и искусственных баз.

Область применения микрометрических измерений при оценке износов весьма ограничена из-за того, что численные значения износов (изменения линейных размеров) при сравнительно непродолжительных лабораторных исследованиях образцов (деталей) изменяются мало и для определения этих малых изменений необходима высокая точность измерительных средств.

**При весовом методе оценки износов** испытываемые образцы взвешивают на аналитических весах до и после экспериментов. В этом случае для уменьшения погрешностей повышенные требования предъявляются к качеству подготовки образцов перед взвешиваниями (качеству очистки, удаления смазочных материалов, особенно при изучении износостойкости пористых металлов и т.п.). По понятным соображениям этот метод пригоден для оценки износов деталей, имеющих небольшую массу.

Пробы отработавшего масла в любой машине содержат в своем составе продукты изнашивания (металлические включения, элементы, входящие в состав материалов трущихся пар, и т.п.). Если любым лабораторным методом (например, сжиганием пробы и последующим анализом остатка) исследовать содержание этой пробы, то по количественному и качественному составу ее вполне достоверно можно оценить износостойкость пары трения. Такая методика исследования составляет основу оценки износов и скоростей изнашивания машин с помощью стандартных проб отработавшего масла.

**Метод изучения износов деталей с применением искусственных баз** состоит в том, что на исследуемую поверхность наносят специальные лунки. Геометрические размеры таких лунок при изнашивании изменяются. Эти изменения регистрируют приборами и, сопоставляя их с первоначальными значениями размеров, делают заключение о скоростях изнашивания деталей. Метод искусственных баз так же, как и предыдущий метод, является пригодным для проведения исследований на реальных дизелях и требует обязательной большей или меньшей разборки сборочной единицы.

**Радиометрические методы** относят к экспресс-методам оценки износостойкости. При проведении испытаний они разборки деталей не требуют. Сущность их состоит в том, что на исследуемую поверхность в ускорителях частиц наносят радиоактивную метку. В процессе изнашивания радиоактивность этой метки уменьшается. По интенсивности изменения радиоактивности метки судят о фактических скоростях изнашивания. При стендовых испытаниях метод обеспечивает получение надежной информации на динамических режимах эксплуатации дизелей. Однако он требует строгого соблюдения правил охраны труда и техники безопасности.



### **1.1.3 Технический надзор**

**Технический надзор** за постройкой, эксплуатацией, ремонтом и переоборудованием судов речного флота осуществляет Речной Регистр (далее Регистр) на основании Правил классификации и постройки судов внутреннего плавания (в дальнейшем Правил), в которых конкретно указаны все объекты, подлежащие техническому надзору.

Непосредственное наблюдение за строящимися и эксплуатируемыми судами во всех бассейнах речного флота ведут Инспекции Регистра.

Технический надзор Регистр проводит путем следующих освидетельствований: первоначального, очередного, классификационного ежегодного и внеочередного.

**Первоначальное освидетельствование** предусматривает взятие судна на учет Регистром после постройки, капитального ремонта и модернизации, если в последних двух случаях произошли изменения основных элементов судна.

Первоначальное освидетельствование судов производит Инспекция в объеме, необходимом для установления их конструктивных особенностей и определения технического состояния. При этом освидетельствовании судну присваивается класс и выдают судовые документа Регистра, а если судно предъявляют к освидетельствованию впервые, то ему присваивают регистровый номер.

**Очередное освидетельствование** проводят с целью определения технического состояния судна, и, как правило, оно предшествует среднему или капитальному ремонту. Для осмотра подводной части корпуса судна при этом освидетельствовании требуется постановка судна в док или подъем его на слип.

Периодичность очередных освидетельствований зависит от периодичности **классификационных освидетельствований**. Перед очередным освидетельствованием судовладелец проводит дефектацию основных конструкций, машин, устройств и систем. На основании результатов этой дефектации и выборочного осмотра Инспекции Речного Регистра оценивают техническое состояние и предъявляют требования по объемам ремонта и условиям эксплуатации судна.

**Классификационное и очередное освидетельствование судов** внутреннего плавания в обоснованных случаях могут быть отсрочены на два года.

**Классификационное освидетельствование** проводят после очередного освидетельствования. К этому времени судовладелец представляет результаты измерений параметров элементов судна при дефектации судна, сертификаты на детали, замечания на основании очередного освидетельствования.

Результатом классификационного освидетельствования является признание (непризнание) судна годным к плаванию.

Периодичность классификационного освидетельствования составляет один раз в пять лет, начиная от даты первичного освидетельствования.

**Ежегодное освидетельствование** проводят в период, между классификационными. При этом проверяют техническое состояние основных элементов судна и продляют срок действия судовых документов. При ежегодном освидетельствовании преимущественно проводят наружные осмотры элементов судна в установленных объемах.

**Внеочередное освидетельствование** выполняют, в частности, после аварий, по заявкам судовладельца, для получения разрешения на разовые переходы в условиях, не соответствующих классу судна, при изменении назначения судна, рода перевозимого груза и т.п.

Технический надзор за ремонтом, переоборудованием и модернизацией элементов судна осуществляют на основании документации, согласованной с Регистром.

Дефектацию судна выполняют специальные комиссии с учетом вида предстоящего освидетельствования и соответствующих нормативов.

#### **1.1.4 Основные показатели и расчеты надежности машин и судовых конструкций**

Оценка качества отремонтированного судна или механизма может быть произведена путем сравнения его показателей с показателями нового судна или механизма той же модели, а также сравнением с показателями модели или судна, отремонтированного на передовом специализированном предприятии.

Наиболее обобщенным показателем уровня качества нового судна является показатель, определяемый отношением:

$$K_{об} = Q / (C_{и} + C_{э}) \quad (1.10)$$

Уровень качества отремонтированного судна, механизма, агрегата можно оценить обобщенным показателем:

$$K'_{об} = Q_1 / (C_p + C'_э) \quad (1.11)$$

где  $Q$  и  $Q_1$  – объемы транспортной (ресурс, ч) работы, выполненной новым и отремонтированным судном, механизмом за срок службы до следующего ремонта;

$C$  и  $C_p$  – стоимость изготовления и ремонта;

$C_э$  и  $C'_э$  – стоимость эксплуатации нового и отремонтированного судна, механизма.

Уровень качества отремонтированного судна, механизма по сравнению с уровнем качества нового судна, механизма того же типа может быть оценен коэффициентом:

$$K_p = K'_{об} / K_{об} = Q_1 (C_{и} + C_{э}) / [Q (C_p + C'_э)] \quad (1.12)$$

Из формулы следует, что уровень качества отремонтированного судна, механизма выражается безразмерной величиной, что позволяет оценивать качество ремонта дизелей, узлов, агрегатов и других механизмов.

В настоящее время значение коэффициента  $K_p$  во многих случаях колеблется в пределах 0,6–0,8. В дальнейшем по мере совершенствования технологии и организации

судоремонтного производства значение коэффициента  $K_p$  все более будет приближаться к единице.

ГОСТ 13377–75 устанавливает основные определения надежности.

**Надежность** – свойство объекта (судна, дизеля, агрегата, узла) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих режимам и условиям использования. Надежность судна обуславливается безотказностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью, а также долговечностью его частей.

**Работоспособность** – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах установленных нормативно-технической документацией.

**Отказ** – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

**Неисправность** – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией.

**Наработка** – продолжительность или объем работы объекта.

**Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

**Долговечность** – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Предельное состояние изделия определяется невозможностью его дальнейшей эксплуатации или снижением эффективности, или требованиями безопасности и оговаривается в технической документации. Показателями долговечности могут служить ресурс, срок службы.

**Ремонтпригодность** – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Под устранением отказов подразумевается восстановление работоспособности.

**Сохраняемость** – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после срока хранения и транспортирования. Показателями сохраняемости может служить средний срок сохраняемости.

**Наработка на отказ** – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Если наработка выражается в единицах времени, можно применять термин «среднее время безотказной работы».

**Ресурс  $t_p$**  – наработка объекта от начала эксплуатации до предельного состояния, оговоренного в технической документации. В отношении судна и его агрегатов можно различать ресурс до капитального, среднего или заводского ремонта.

**Срок службы** – календарная продолжительность эксплуатации объекта до момента возникновения предельного состояния, оговоренного в технической документации. Различают срок службы до капитального, среднего или текущего ремонта, срок службы до списания и др.

**Время безотказной работы представляет собой случайное явление, поэтому статистические характеристики надежности носят вероятностный характер и могут быть определены на основе статистических данных.**

Если  $t$  – время, в течение которого необходимо определить вероятность безотказной работы  $P(t)$  объекта, а  $T$  – период времени его работы до первого отказа, тогда вероятность безотказной работы:

$$P(t) = P(T > t) \quad (1.13)$$

Вероятность безотказной работы является убывающей функцией времени. Другие свойства этой вероятности:

$$0 \leq P(t) \leq 1, P(0) = 1, P(\infty) = 0 \quad (1.14)$$

Событием, противоположным вероятности безотказной работы, является вероятность отказа

$$q(t) = 1 - P(t) \quad (1.15)$$

так как

$$P(t) = P(T > t) \quad (1.16)$$

то

$$q(t) = P(T \leq t) \quad (1.17)$$

вероятность безотказной работы на протяжении наработки

$$P(t) = \int_1^{\infty} f(t) dt \quad (1.18)$$

статистически

$$P(t) = N(t)/n \quad (1.19)$$

где  $N$  – число изделий, оставшихся работоспособными до конца наработки;  
 $n$  – общее число наблюдаемых изделий.

Интенсивность отказов представляет собой отношение плотности распределения наработки до отказа  $f(t)$  к вероятности безотказной работы  $P(t)$ :

статистически

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) \quad (1.20)$$

$$\lambda(t) = [N(t) - N(t + \Delta t)]/\Delta t N \quad (1.21)$$

где  $N(t)$  – количество работоспособных изделий к рассматриваемому моменту времени;

$\Delta t$  – выражает число изделий, отказавших в единицу времени.

Для ремонтируемых изделий, так же, как и для новых, рекомендуется определять следующие показатели надежности. Среднее число отказов  $m_{cp}$  до наработки  $t$ :

$$m_{cp} = \sum_{i=1}^n m_i(t) / n \quad (1.22)$$

Поток отказов, т. е. отношение числа отказов в единицу времени к общему числу наблюдаемых изделий:

$$\omega(t) \approx \frac{\sum_{i=1}^n m_i(t+\Delta t) - \sum_{i=1}^n m_i(t)}{n\Delta t} \quad (1.23)$$

Наработка на отказ за период от  $t_x$  до  $t_2$ :

$$T = (t_2 - t_1) / [m_{cp}(t_2) - m_{cp}(t_1)] \quad (1.24)$$

Вероятность безотказной работы в период между наработками  $t_x$  до  $t_2$ :

$$P(t_2 - t_1) = \exp[H(t_1) - H(t_2)] \quad (1.25)$$

где  $H(t_1)$  и  $H(t_2)$  – характеристики потока отказов за периоды  $t_x$  и  $t_2$ .

В общем виде:

$$H(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n m_i(t) / n \quad (1.26)$$

При постепенных (износных) отказах за распределение наработки до отказа принимается нормальное распределение.

При этом время безотказной работы объекта определяется интегрированием площади кривой распределения. Плотность распределения вероятностей случайной величины в усеченном нормальном законе выражается уравнением:

$$f(t) = \left[ c_{н.м} / (\sigma\sqrt{2\pi}) \right] e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.27)$$

где  $c_{н.м}$  – нормирующий множитель, определяемый из условия, что площадь под кривой усеченного нормального распределения равна единице, т.е.

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \quad (1.28)$$

При значениях случайной величины  $t$ , лежащих в интервале от 0 до  $\infty$ , нормирующий множитель:

$$c_{н.м} = 1/[0,5 + \Phi(t_0/\sigma)] \quad (1.29)$$

Вероятность безотказной работы агрегата, узла или детали в течение времени  $t$ :

$$P(t) = c_{н.м} \left[ 0,5 + \Phi\left(\frac{t_0-t}{\sigma}\right) \right] = \frac{1}{[0,5 + \Phi(t_0/\sigma)]} \left[ 0,5 + \Phi\left(\frac{t_0-t}{\sigma}\right) \right] = \frac{1 + \Phi(t_0-t)/\sigma}{1 + \Phi(t_0/\sigma)} \quad (1.30)$$

где  $t_0$  – математическое ожидание;

$\sigma$  – среднее квадратичное значение случайной величины.

Значения функции  $\Phi$  находят из таблиц. Однако в тех случаях, когда  $\sigma \ll t_0$ , при расчете характеристик надежности можно пользоваться нормальным законом без его усечения уже при  $t_0/\sigma > 2$ , что, как правило, и имеет место на практике; при расчетах надежности объекта значение нормирующего множителя с мало отличается от единицы.

Вероятность отказа в течение времени от  $t = 0$  до  $t$  (будет определяться площадью под кривой нормального распределения на участке длиной от 0 до  $t$

$$q(t) = \left[ 1/\sigma\sqrt{2\pi} \right] \int_0^t e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (1.31)$$

$$q(t) = \left[ 1/\sigma\sqrt{2\pi} \right] \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (1.32)$$

Интеграл в правой части формулы представляет собой вероятность безотказной работы детали, узла за время от  $t = 0$  до  $t$ :

$$P(t) = \left[ 1/\sigma\sqrt{2\pi} \right] \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (1.33)$$

При новой переменной  $z = (t - t_0)/\sigma$  вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{(t-t_0)/\sigma}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (1.34)$$

Формула позволяет определять вероятность безотказной работы деталей узлов по износным (постепенным) отказам для случаев, когда  $\sigma < t_0$ .

Надежность судна как сложной системы зависит от надежности отдельных деталей и при последовательном соединении по известной теореме умножения вероятностей равна произведению вероятной безотказной работы отдельных деталей:

$$P_c(t) = P_1(t), P_2(t), \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (1.35)$$

При одинаковой и равной надежности деталей вероятность безотказной работы судна была бы равна

$$P_c = P_i^n \quad (1.36)$$

и вероятность отказа судна

$$q_c = 1 - (1 - q_i)^n = q_i^n \quad (1.37)$$

Однако это идеальный случай, так как детали и узлы судна имеют разную долговечность.

Изучение надежности судов, их агрегатов и узлов позволяет обоснованно подходить к расчету сменных частей и повышению долговечности деталей путем конструктивных и технологических мероприятий. Во многих случаях отремонтированные суда, дизели, агрегаты, механизмы имеют несколько меньшую надежность и долговечность по сравнению с новыми. Это объясняется тем, что сборка дизелей, агрегатов и узлов производится из деталей, восстановленных разными способами на неспециализированных предприятиях.

Совместная вероятность безотказной работы деталей с учетом износных и внезапных отказов в период работы от  $t = 0$  до  $t$ :

$$P(t) = e^{-\lambda t} P(0 - t) / P(0) = e^{-\lambda t} P_{и}(t) \quad (1.38)$$

Так как  $P(0) = 1$ . В этой формуле  $P_{и}(t)$  выражает вероятность безотказной работы по износным отказам

$$P_{и}(t) = \left[ 1 / \sigma \sqrt{2\pi} \right] \int_t^\infty e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (1.39)$$

где  $e^{-\lambda t}$  – по внезапным;

$t$  – наработка детали;

$t_0$  — среднее значение ее долговечности.

Приведенной формулой для  $P(t)$  можно пользоваться только тогда, когда  $t = 0$ , т.е. когда деталь новая или восстановленная вступила впервые в эксплуатацию. Если же деталь уже была в эксплуатации и имеет наработку и износ, как это бывает в случае использования деталей с допустимым износом, вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t} \left[ P_{и}(t' + t) / P_{и}(t') \right] \quad (1.40)$$

где  $t'$  – первоначальная наработка до второй постановки детали в эксплуатацию.

Высокое качество и эксплуатационная надежность отремонтированных судов, дизелей, агрегатов, деталей могут быть достигнуты на специализированных предприятиях.

## **1.2 Правила ремонта судов**

### **1.2.1 Общие положения**

Правила устанавливают общие требования, принципы организации, планирования и финансирования ремонта судов Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь (Минтранс).

Правила регламентируют отношения между владельцами судов и предприятиями – исполнителями ремонта.

Выполнение требований и положений, изложенных в настоящих Правилах, обязательно для всех предприятий Минтранса.

Система технического обслуживания и ремонта судов представляет собой совокупность взаимосвязанных технических средств, материалов, документов и исполнителей, необходимых и достаточных для поддержания и восстановления заданных значений технико-эксплуатационных характеристик судов, входящих в эту систему.

Правила предусматривают применение передовых методов технического обслуживания и ремонта, осуществляемых в плановом порядке и обеспечивающих постоянное содержание судна в исправном техническом состоянии, и сохранение паспортных характеристик в установленных пределах в течение нормативного срока службы.

***Система технического обслуживания и ремонта судов предусматривает:***

1. техническое обслуживание всех элементов судна, осуществляемое по плану через определенные промежутки времени по перечню обязательных операций, либо по техническому состоянию;
2. систематический контроль технического состояния и содержания всех элементов судна;
3. изучение износов основных элементов судна, анализ факторов, влияющих на характер и скорость их изнашивания, разработка норм износов и сроков службы, а также мероприятий по удлинению межремонтных периодов;
4. планирование ремонтов по объемам, периодичности и времени их производства в зависимости от технического состояния и с учетом обеспечения работоспособности судна до следующего планового ремонта соответствующего вида.

***Система технического обслуживания и ремонта обеспечивает в течение установленного срока службы:***

- сохранение и поддержание исправного технического состояния и восстановление, в случае необходимости, эксплуатационно-технических характеристик;
- обеспечение качества, сокращение сроков и снижение стоимости ремонта;



- нормальные условия труда и быта судового экипажа.

Нормативные сроки службы судов установлены согласно нормам амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства и обеспечивают накопление амортизационных отчислений в размере стоимости судна.

Периодичность проведения технического обслуживания и ремонта судов устанавливаются настоящими Правилами в зависимости от типа и назначения судна, условий эксплуатации, района плавания, возраста и нормативного срока службы, а также порядка проведения периодических освидетельствований, проводимых Белорусской инспекцией Речного Регистра (далее – инспекций Регистра).

***Ремонт и модернизация судов осуществляется на судоремонтных предприятиях***, ремонтных участках предприятий Минтранса с максимальным использованием промышленных методов ремонта, предусматривающих:

- применение агрегатного и агрегатно-узловых методов ремонта судовых технических средств (СТС);
- применение блочного, блочно-секционного и секционного методов ремонта корпусов судов;
- максимальное использование сменных узлов, частей и изделий, изготовленных и восстановленных или приобретаемых централизованно до постановки судов на ремонт;
- производство ремонтных работ с применением современных средств технологического оснащения, организации и технологии ремонта судов.

Разрабатываемые Минтрансом, судоремонтными предприятиями и судовладельцами документы по организации ремонта судов (и другим вопросам, касающимся данной деятельности) должны соответствовать нормам настоящих Правил.

### ***1.2.2 Классификация, периодичность и объемы ремонта, модернизация и переоборудование судов***

#### **Классификация видов ремонта.**

В соответствии с ГОСТ 24166–80 предусматриваются следующие виды ремонта:

- текущий;
- средний;
- капитальный;
- доковый (слиповый).

Указанные виды ремонта и заводское техническое обслуживание (ЗТО) образуют систему планово-предупредительных ремонтов (ППР), регламентирующую периодичность плановых ремонтов по судну в течение нормативного срока службы.

В процессе эксплуатации по судам могут производиться следующие виды неплановых ремонтов (по ГОСТ 24166–80):

- восстановительный;
- аварийный;
- поддерживающий;
- гарантийный;
- прочий неплановый.

### **Характеристика видов ремонта системы ППР.**

**Текущий ремонт** – ремонт судна, выполняемый для поддержания его технико-эксплуатационных характеристик в заданных пределах с заменой и (или) восстановлением отдельных быстроизнашивающихся элементов. При текущем ремонте могут производиться работы по частичной замене обшивки и набора корпуса судна.

Периодичность текущего ремонта определяется состоянием судна, а сами ремонты проводятся между средними ремонтами.

Текущий ремонт судов проводится, как правило, в межнавигационный период и должен быть завершен к открытию навигации.

**Средний ремонт** – ремонт судна, выполняемый для восстановления его технико-эксплуатационных характеристик до заданных значений с заменой и (или) восстановлением элементов ограниченной номенклатуры.

При среднем ремонте производится полная проверка технического состояния элементов судна; замена или восстановление всех изношенных СТС, узлов и деталей, включая базовые; частичная замена обшивки и набора корпуса судна.

Средний ремонт обеспечивает работоспособное состояние судна до следующего очередного среднего ремонта с выполнением в промежуточные сроки текущих ремонтов.

Периодичность проведения средних ремонтов для судов различных типов и назначений приведена в Правилах Регистра.

Средний ремонт судов внутреннего плавания может производиться как в межнавигационный период, так и в навигационный по усмотрению судовладельца.

Срок производства среднего ремонта судов внутреннего плавания может быть перенесен при исправном техническом состоянии судна и отсутствии повреждений и износов, установленных по результатам дефектации.

Перенос срока утверждается судовладельцем по представлению акта технической комиссии, согласованного с инспекцией Регистра.

Средний ремонт производится под техническим надзором инспекции Регистра.

**Капитальный ремонт** – ремонт судна (элемента, узла), выполняемый для восстановления его технико-эксплуатационных характеристик до значений, близких к построечным, с заменой и (или) восстановлением любых элементов, включая базовые. Капитальный ремонт производится под техническим надзором инспекции Регистра.

Под построечными подразумеваются характеристики, действовавшие на момент постройки судна (элемента, узла).

Наблюдение за капитальным ремонтом осуществляют лица, назначенные владельцем судна.

*Капитальному ремонту, как правило, подлежат только отдельные элементы (узлы) судна, либо СТС:*

- судовые двигатели (как главные, так и вспомогательные);
- вспомогательные механизмы;
- судовые устройства после выработки ресурса до капитального ремонта или в случаях, когда их техническое состояние требует проведения капитального ремонта.

СТС подлежат списанию, если выработали свой технический ресурс до списания, либо по техническому состоянию ремонт их невозможен или экономически нецелесообразен. Расходы на приобретение нового СТС взамен списанного относят на ремонт судна.

Капитальный ремонт судов серийной постройки, как правило, не проводится.

**Доковый (слиповый) ремонт** – ремонт подводной части судна, выполняемый в доке (на слипе), или при обнажении подводной части судна другим способом.

Плановое слипование судов, эксплуатирующихся на внутренних водных путях, производится, как правило, при средних ремонтах, а также с целью предъявления подводной части корпуса судна инспекции Регистра к очередному освидетельствованию. Если корпус судна не водотечен и не имеет разрывов набора или обшивки, потери устойчивости элементов, отрывов обшивки от элементов набора, то по согласованию с инспекцией Регистра плановое слипование может быть перенесено на срок в соответствии с действующими нормами Правил Регистра.

Плановое слипование транспортных судов внутреннего плавания классов «М-пр» и «О-пр» производится:

- при работе в морских районах в среднем до 50 сут. в год – в соответствии с п. 2.2.16 Правил Регистра;
- при работе в морских районах в среднем от 50 до 90 сут. в году – один раз в три года;
- при работе в морских районах в среднем более 90 сут. в году – один раз между средними ремонтами.

Сроки и продолжительность слипования судов устанавливаются графиками, утверждаемыми судовладельцем.

Плановое слипование судов может быть перенесено при изменении инспекцией Регистра сроков очередного освидетельствования.

Слипование перед средним ремонтом с целью очередного освидетельствования корпуса производится по отдельному графику, как правило, в навигационный период.

Ответственность за своевременную постановку судна на судоремонтное предприятие для слипования несет судовладелец (заказчик), а за продолжительность слипования - исполнитель ремонта (подрядчик).

Объем работ по зачистке судна, откачке фекалий, подсланевых вод, топлива из бункеров, дегазации бункеров определяется совместно заказчиком и подрядчиком за пять суток до постановки судна на слип. Время на выполнение этих операций не входит в нормы стоянки судна при слиповании.

При неплановых подъемах судов на слип в случае наступления срока очередного освидетельствования или его просрочки судовладелец (предприятие) может произвести дефектацию подводной части корпуса и предъявить его инспекции Регистра для очередного освидетельствования.

По истечении нормативного срока службы судна целесообразность дальнейшей эксплуатации и ремонта вне системы ППР оценивается на основе технико-экономических расчетов.

## **Модернизация и переоборудование судов.**

**Модернизация** – совокупность операций по изменению конструкции судна (элемента судна) с целью улучшения технико-эксплуатационных характеристик, условий труда и быта, а также выполнения требований Международных конвенций.

**Переоборудование** – совокупность операций по изменению конструкции судна (элемента судна) с целью изменения его функционального назначения.

Модернизация и переоборудование проводятся под техническим надзором Регистра. Целесообразность переоборудования или модернизации судна устанавливается технико-экономическим обоснованием.

Модернизация серийных судов производится по единой технической документации и допускается только после испытаний в эксплуатационных условиях опытных объектов модернизации на судне данной серии и установления фактической ее эффективности.

Модернизация судов, как правило, приурочивается к плановым ремонтам и производится в сроки, установленные графиком ремонта.

### **Характеристика неплановых ремонтов.**

**Восстановительный ремонт** – неплановый ремонт судна, выполняемый для устранения повреждений, вызванных стихийным бедствием (ледоходом, паводком, пожаром, штормом и т. п.).

Восстановительный ремонт может сопровождаться переоборудованием или модернизацией.

**Аварийный ремонт** – неплановый ремонт судна, выполняемый для устранения повреждений, вызванных аварийным случаем и оформленных актом в соответствии с действующим Положением о порядке служебного расследования и учета транспортных аварийных случаев на внутренних судоходных путях Республики Беларусь, утвержденным Минтрансом.

**Поддерживающий ремонт** – ремонт судна, выполняемый в минимальном объеме для поддержания его технико-эксплуатационных характеристик в заданных пределах на установленный интервал времени непосредственно после вывода судна из системы ППР.

Модернизация и переоборудование судов при поддерживающем ремонте запрещается.

**Гарантийный ремонт** – ремонт судна, выполняемый силами и средствами строителя судна (исполнителя ремонта) или другими исполнителями в счет средств строителя (исполнителя ремонта), по устранению выявленных в гарантийный период дефектов и восстановлению технико-эксплуатационных характеристик судна до значений, установленных в нормативно-технической документации на постройку (ремонт).

**Прочий неплановый ремонт** включает в себя работы по устранению в период навигации неисправностей, производственных (технологических) поломок и износов, скрытых дефектов, а также другие виды неплановых ремонтов, не перечисленных выше.

### **1.2.3 Планирование ремонта флота**

Планирование ремонта судов включает разработку годового плана судоремонта исходя из прогнозируемых объемов работы флота в следующую навигацию.

Годовые планы судоремонта разрабатываются предприятиями-владельцами судов с учетом:

- плановых сроков проведения очередных освидетельствований судов инспекцией Регистра;
- утвержденного графика ППР судов;
- фактического выполнения графика ППР судов за предшествующие годы;
- состава и технического состояния флота, его пополнения и убыли;
- технической оснащенности действующих судов и судов, намечаемых к пополнению флота;
- установленных требований по модернизации судов и повышению технического состояния речного флота;
- производственных возможностей судоремонтных предприятий;
- направлений, принятых Минтрансом по внедрению новой техники на флоте и в судоремонтном производстве, унификации оборудования судов и специализации производств.

Графики ППР судов разрабатываются и утверждаются владельцами судов.

Графики постановки судов в ремонт разрабатываются и утверждаются владельцами судов за месяц до начала постановки судов в ремонт. Предельный срок вывода судов, подлежащих среднему ремонту, из эксплуатации – не позднее 1 ноября.

В навигационный период планируются работы нулевого этапа (см. приложение В) и плановое слипование судов (в счет объемов работ межнавигационного периода).

Восстановительный ремонт (с модернизацией) судов, выведенных для этой цели из эксплуатации, планируется для выполнения круглый год (как в межнавигационный, так и в навигационный период).

### **1.2.4 Особенности заключения договоров на ремонт судов**

#### **Стоимость ремонта судов.**

*В стоимость ремонта судов включаются:*

1. затраты на выполнение планово-предупредительного ремонта,  
**в том числе:**
  - затраты на текущий ремонт;
  - затраты на средний ремонт, включая стоимость переоборудования и модернизации, планового слипования, демонтажа и монтажа оборудования и его транспортировки к месту хранения и обратно;
2. затраты на выполнение непланового ремонта,  
**в том числе:**
  - затраты на поддерживающий ремонт;

- затраты на прочий неплановый ремонт (восстановительный, аварийный, гарантийный, прочий);
- 3. стоимость содержания судов в период ремонта;
- 4. стоимость израсходованных топлива и смазки во время испытания судна;
- 5. стоимость работ нулевого этапа.

В затраты на переоборудование и модернизацию судов, судовых механизмов и отдельных узлов включаются средства на разработку технической документации и исследовательские работы.

***К затратам на ремонт и модернизацию судов не относятся расходы:***

- по зачистке и приведению судов в зимовочное состояние;
- по отстоя судов, содержанию членов экипажей на отстое в период зимнего ремонта;
- по заработной плате членов экипажей при выполнении технического обслуживания, входящих в круг их обязанностей;
- по заработной плате членов экипажей, участвующих в проведении текущего ремонта судов до приведения их в зимовочное состояние;
- на топливо и смазку, израсходованные в период разоружения, вооружения и ремонта судов без вывода судна из эксплуатации;
- по содержанию членов экипажа в период разоружения, вооружения и ремонта судов без вывода их из эксплуатации.

Расчеты за законченный ремонт в целом по судам или отдельным работам проводятся по счетам за фактически выполненный объем работ в соответствии со стоимостью ремонта, установленной ремонтной ведомостью, сметно-финансовым расчетом.

***Стоимость ремонта рассчитывается в соответствии*** с Положением по определению стоимости судоремонтных работ на предприятиях речного транспорта Республики Беларусь, утверждаемым Минтрансом, и устанавливается в договоре.

***Расчеты производятся:***

- при текущем ремонте – при 100% готовности судна;
- при среднем ремонте – по проценту готовности судна;
- при модернизации и переоборудовании – при 100% готовности работ, на которые составлены отдельные сметы.

**Договоры на судоремонт.**

Договоры на ремонт судов заключаются между предприятием-владельцем флота (заказчиком) и предприятием-исполнителем ремонта (подрядчиком) на основании утвержденных в установленном порядке ремонтных ведомостей.

Заказчик передает подрядчику суда в защищенном и подготовленном к ремонту состоянии согласно настоящим Правилам.

Подрядчик выполняет работы, обусловленные прилагаемой к договору документацией, и несет ответственность за сроки и качество выполнения всех работ, производимых как им самим, так и субподрядчиком.

Ответственность за сохранность судов во время ремонта несет подрядчик.

Договоры на производство ремонта заключаются в сроки:

- на текущий ремонт – не позднее 15 дней после постановки судна на ремонт;
- на средний ремонт – не позднее 30 дней после постановки судна на ремонт;
- на восстановительный ремонт (модернизацию или переоборудование) и на подготовительные работы к нему – не позднее чем за 3 месяца до начала ремонта.

Сроки начала и окончания ремонта определяются графиками, утвержденными руководством судовладельца по согласованию с исполнителем ремонта.

На изготовление запасных частей для ремонта судов, выполняемого в межнавигационный период, договоры заключаются не позднее 20 апреля года начала ремонта судов, для которых они предназначены.

В случае задержки по вине подрядчика сдачи судна из ремонта в срок, установленный договором, он уплачивает заказчику за каждый день просрочки пени, устанавливаемые договором в процентах от стоимости ремонта данного судна.

При задержке сдачи судна из ремонта по форс-мажорным (непреодолимым) обстоятельствам пени с подрядчика не взыскиваются.

В случае задержки приемки отремонтированного судна в срок, установленный договором, по вине заказчика штрафные санкции к подрядчику не выставляются.

Заказчик обязан поставить судно на ремонт в срок, согласованный с подрядчиком. В случае задержки постановки судна на ремонт срок исполнения ремонта по требованию подрядчика может быть увеличен на время задержки.

В случае поставки заказчиком подрядчику запасных частей для ремонта судна, сроки их поставки устанавливаются договором.

При задержке заказчиком передачи подрядчику запасных частей в сроки, установленные договором, заказчик уплачивает подрядчику за каждый день просрочки пени, устанавливаемые договором в процентах от стоимости непоставленных механизмов, оборудования, деталей.

В этом случае пени с подрядчика за задержку сдачи судна из ремонта не взыскиваются. За необоснованную просрочку платежей подрядчику заказчик за каждый день просрочки уплачивает пени, устанавливаемые договором в процентах от суммы просроченного платежа.

Все спорные вопросы по договорам разрешаются в установленном действующим законодательством порядке.

### ***1.2.5 Подготовка к ремонту судов***

**Подготовка к ремонту судов до постановки их на ремонт.**

***Подготовка производства и организация работ до постановки судов на ремонт*** производится владельцем судна и судоремонтными предприятиями и включает:

- оценку судовладельцем в период эксплуатации судна состава и объемов плановых ремонтных работ, элементов конструкций и оборудования судна;
- составление судовладельцем единых ремонтных ведомостей (ЕРВ), индивидуальных ремонтных ведомостей (ИРВ) и технической документации на модернизацию (переоборудование) судов Проектно-конструкторским бюро «Белсудопроект» или другими организациями (ПКБ) и передачу этих документов судоремонтным предприятиям;
- разработку, при необходимости, ПКБ или силами судоремонтных предприятий ремонтной документации;
- выполнение судоремонтным предприятием мероприятий нулевого этапа.

***В объем работ нулевого этапа включается:***

- приобретение деталей, узлов и механизмов обменного фонда;
- ремонт узлов, механизмов и оборудования обменного фонда;
- изготовление запасных частей.

Технические задания для разработки документации на модернизацию (переоборудование) или восстановительный ремонт должны предоставляться заказчиком, либо по его поручению ПКБ, после проработок их экономической эффективности.

Техническая документация на модернизацию (переоборудование) или восстановительный ремонт судов разрабатывается ПКБ по договору с заказчиком.

Техническое задание и техническая документация на модернизацию (переоборудование) или восстановительный ремонт до представления на утверждение должны быть согласованы с надзорными организациями и с предприятием-исполнителем ремонта ПКБ в сроки, определяемые РД РБ 212.1-95.

Утвержденные техническое задание и техническая документация должны быть переданы ПКБ предприятию-исполнителю ремонта.

**Ремонтные ведомости на ремонт, выполняемый в межнавигационный период,** передаются владельцем судна предприятию-исполнителю работ для расчета и калькулирования в следующие сроки года начала ремонта:

***по самоходному флоту:***

- ✓ на средний ремонт до 1 сентября;
- ✓ на текущий ремонт до 1 октября;

***по несамоходному флоту:***

- ✓ на средний ремонт до 1 сентября;
- ✓ на текущий ремонт при постановке судна на ремонт.

**Расчет затрат потребного объема работ по ЕРВ, калькулирование ИРВ** осуществляется в следующие сроки года начала ремонта:

- ✓ для текущего ремонта самоходных судов к 15 октября, несамоходных судов – в течение 10 дней с момента постановки судна на ремонт;
- ✓ для среднего ремонта всех судов – к 1 октября;
- ✓ для восстановительного ремонта и модернизации (переоборудования) судов – за 5 месяцев до начала производства работ.



Ремонтные ведомости в спорных случаях должны проходить экспертизу с привлечением независимых экспертов на соблюдение действующих нормативов, цен и тарифов, установленного порядка расчета калькулирования и ценообразования судоремонтной продукции и после экспертизы утверждаться владельцем судна в течение 10 дней.

***Утвержденные ЕРВ и ИРВ передаются предприятию-исполнителю работ не позднее:***

- ✓ для текущего ремонта самоходных судов – 1 ноября;
- ✓ несамоходных судов – 15 дней после постановки на ремонт;
- ✓ для среднего ремонта всех судов – 1 ноября года начала ремонта;
- ✓ для восстановительного ремонта и модернизации (переоборудования) судов – за 4 месяца до начала производства работ.

Все агрегаты, СТС, узлы и детали для предстоящего судоремонта должны быть поставлены судовладельцем или приобретены предприятием-исполнителем ремонта, а определенная номенклатура узлов и деталей изготовлена предприятием-исполнителем ремонта до постановки судов на ремонт.

Изготовление запасных деталей силами предприятия-исполнителя ремонта производится по номенклатуре, приведенной в ЕРВ или предварительно заказанной по ИРВ, в счет затрат на ремонт флота.

### **Подготовка к ремонту судов в период и после постановки их на ремонт.**

Уточнение потребного объема ремонтных работ, соответствующих виду ремонта судна, производится командным составом судна в период его сдачи на ремонт с учетом дефектов и неисправностей, обнаруженных во время эксплуатации и выявленных при освидетельствовании и предремонтной дефектации.

При установлении уточненного потребного объема ремонта должны быть учтены требования и заключения надзорных организаций.

#### ***Предремонтная дефектация осуществляется:***

- ✓ перед текущим ремонтом – командным составом судна совместно с групповым механиком (механиком-наставником) или инспектором несамоходного флота;
- ✓ перед средним и восстановительным ремонтом – комиссией в составе капитана-механика или капитана (командира, шкипера) и механика, группового механика (механика-наставника) или инспектора несамоходного флота, представителя ОТК, производителя работ и начальника технического отдела предприятия-исполнителя ремонта.

В составе комиссии могут участвовать представители надзорных организаций.

Дефектация должна выполняться с применением современных методов дефектоскопии, специального контрольного измерительного инструмента, измерительных приборов в соответствии с рекомендациями и инструкциями заводов-изготовителей и техническими условиями на ремонт.

По элементам корпуса судна, механизмам, устройствам, электрическому оборудованию, находящимся под надзором контролирующих организаций, при их освидетельствовании и дефектации должны учитываться требования этих организаций.

Разборка механизмов, оборудования, устройств и конструкций судна при предремонтной дефектации перед средним и восстановительным ремонтами производится в объеме, обеспечивающем выполнение необходимых обмеров отдельных деталей и дефектации всех элементов корпуса судна.

Разборка механизмов, оборудования и устройств судна при предремонтной дефектации перед текущим ремонтом производится в объеме, обеспечивающем выполнение работ по ремонтной ведомости и устранение дефектов, выявленных в процессе эксплуатации.

Главные и вспомогательные двигатели, машины, механизмы и устройства, подлежащие ремонту в условиях специализированных производств, разборке и дефектации на судне не подвергаются, а направляются на ремонт в полном комплекте с навешенными механизмами и приборами или в комплектации, согласованной с предприятием, производящим ремонт.

Предремонтная дефектация с составлением дополнительных ведомостей должна быть проведена в следующие сроки со дня приемки судна на ремонт:

- ✓ при текущем ремонте самоходных судов – 5 дней;
- ✓ при среднем ремонте самоходных судов – 20 дней, несамоходных – 10 дней;
- ✓ при восстановительном ремонте (модернизации) самоходных судов – 30 дней, несамоходных – 15 дней.

Дополнительные ведомости проверяются, направляются на калькулирование и утверждаются представителем владельца судна.

Калькулирование дополнительных ведомостей производится предприятием-исполнителем ремонта судов по текущему и среднему ремонту в течение 10 дней, по восстановительному – в течение 15 дней со дня получения ведомостей.

После уточнения объема работ по результатам освидетельствования и предремонтной дефектации выполняется расчет стоимости ремонта судна в сумме затрат основной и дополнительной ведомостей.

### **1.3 Методы дефектации судовых механизмов**

#### ***1.3.1 Классификация и причины образования дефектов. Классификация дефектов***

В процессе эксплуатации в судовых технических средствах (установки, агрегаты, механизмы и другое оборудование, обеспечивающее работоспособность судна в соответствии с назначением) и корпусе судна возникают дефекты, которые обуславливаются различными видами физического износа, разрушений и повреждений. В результате судно утрачивает свою работоспособность, что влечет за собой производство восстановительных работ (техническое обслуживание (ТО) и ремонт). Дефекты классифицируют по расположению, конфигурации и причинам

возникновения. По расположению дефекты подразделяют на поверхностные, подповерхностные и внутренние.

**Поверхностными** являются такие дефекты, которые располагаются или имеют раскрытие на поверхности детали. Дефекты, залегающие на глубине не более 2 мм, называются *подповерхностными*, а залегающие на большей глубине – *внутренними*.

По конфигурации дефекты бывают объемные и плоские. **Объемные дефекты** имеют размеры, которые по трем взаимно перпендикулярным осям соизмеримы. Это газовые или шлаковые включения и некоторые виды непроваров. У **плоских дефектов** один из размеров значительно меньше, чем два других. Такими дефектами являются трещины, тонкие непровары, отслоения, риски, задиры, наработки на рабочих поверхностях деталей механизмов и т.д.

По причинам возникновения дефекты классифицируют на конструктивные, производственные и эксплуатационные. В свою очередь эксплуатационные дефекты можно подразделить на дефекты, возникающие от нарушения правил эксплуатации, эксплуатационные отложения и дефекты от физического изнашивания и разрушений.

Необходимо отметить, что, кроме физического, суда подвержены также моральному изнашиванию, которое выражается в техническом старении судов в связи с созданием новых, более современных и более производительных судов того же назначения.

**Конструктивные дефекты** – результат ошибок, допущенных при расчетах и конструировании объектов (ошибки при расчете прочности, неправильное конструктивное оформление детали, неправильный выбор материалов и режимов термической обработки и т.д.).

**Характерным признаком конструктивного дефекта** является систематический отказ детали или узла с одним и тем же дефектом: трещиной, деформацией, чрезмерным износом и т.д. Конструктивные дефекты чаще проявляются на головных судах серии (повышенная вибрация валопровода, проявление **слемминга** – это плоский или приблизительно плоский удар носовой части днища судна о поверхность воды). Но некоторые дефекты могут быть характерными для всех судов (механизмов) серии.

**Производственные дефекты** являются обычно следствием отступлений, допущенных от установленных технических условий, правил и стандартов на изготовление и ремонт судовых технических средств и корпусных конструкций (от неправильного применения материалов, неправильного выполнения термической обработки или других видов упрочнения, неправильной сборки и т.д.).

Конструктивные и производственные дефекты могут приводить к повышенным износам, деформациям и поломкам деталей, что в свою очередь ведет к авариям (аварийный износ дейдвудного подшипника, разрыв шатунных болтов, деформация шатуна, поломка картера двигателя и т.д.).

Часто дефекты вследствие неправильной термической обработки встречались на деталях приводов топливных насосов и выпускных клапанов дизелей с прямоточно-клапанной продувкой.

**Эксплуатационные дефекты** (повышенные износы и повреждения) могут возникать от нарушения правил эксплуатации (правил технической эксплуатации и правил судовождения).

Повреждения корпуса судна, гребных винтов и рулевых устройств часто вызваны тяжелыми навигационными условиями (штормовая погода, ледовая обстановка).

Эксплуатационные отложения образуются в процессе эксплуатации, когда судно и его части соприкасаются с окружающей средой (корпус судна находится в воде, богатой солями и морскими организмами; внутренние поверхности котлов, трубопроводов, теплообменных аппаратов, полостей охлаждения двигателей соприкасаются с водой и конденсатом, содержащими соли; через системы и охладители прокачивается масло, содержащее примеси, и т.д.).

Эксплуатационные отложения необходимо периодически удалять, так как они ведут к снижению эксплуатационных характеристик и изменению условий работы механизмов. Обрастание подводной части корпуса судна, например, ведет к снижению скорости, отложение солей в охлаждающих полостях механизмов – к изменению теплового режима работы, появлению ускоренных износов.

Поэтому эксплуатационные отложения могут быть допущены только в тех случаях, когда они не вызывают существенных отклонений эксплуатационных характеристик механизмов, устройств и судна в целом от построечных. Пределы допустимых величин отложений во время эксплуатации судна и его механизмов устанавливают путем наблюдения за изменением эксплуатационных характеристик.

Часть эксплуатационных отложений периодически устраняют во время эксплуатации судна (осадки в фильтрах, отложения в полостях охлаждения механизмов), часть – во время ремонтов (обрастание подводной части корпуса судна).

Детали технических средств и элементов корпуса судна подвержены действию различного вида механического, абразивного и коррозионно-механического изнашивания, а также коррозионному и усталостному разрушениям. Материал деталей технических средств, работающих в условиях высоких температур, под действием внешних нагрузок подвергается ползучести.

### ***1.3.2 Дефектоскопия. Проверки деталей и узлов. Методы дефектоскопии***

Под дефектоскопией понимается совокупность ряда методов и средств контроля состояния материалов или изделий на отсутствие в них дефектов.

В судоремонте с помощью дефектоскопии определяют износы и повреждения деталей технических средств и элементов корпуса судна, происходящих во время эксплуатации.

Все методы дефектоскопии классифицируют на неразрушающие и разрушающие. К ***неразрушающим методам*** относят визуальный, с помощью измерений, гидравлических и воздушных испытаний, капиллярные, магнитную дефектоскопию, ультразвуковой и т.д., к ***разрушающим*** – механические испытания, микроанализ и другие, для выполнения которых от деталей отбирают пробы и изготавливают образцы. После отбора образцов деталь, как правило, теряет работоспособность.

Если такие методы дефектоскопии, как визуальный и с помощью измерений, выполняют с использованием сравнительно простых и, чаще всего, не специализированных инструментов, то остальные (магнитная и ультразвуковая дефектоскопия, механические испытания и др.) требуют применения

специализированных технических средств: дефектоскопов, прессов, разрывных машин и т.д.

Процесс обнаружения дефектов с использованием перечисленных методов называется **дефектацией**. В ходе дефектации, кроме обнаружения дефектов, производят оценку пригодности детали к дальнейшей эксплуатации или ремонту, определяют метод ремонта и необходимые инструменты, приспособления и запасные части, выбирают технологические схемы ремонта, устанавливают его исполнителей.

Дефектоскопию по внешним признакам применяют часто. Часть дефектов механизмов, устройств и систем можно определить по внешним признакам вовремя дефектовочных пробегов судна и пусков отдельных механизмов, а также при наружном визуальном осмотре.

Техническое состояние механизмов во время их работы определяют по таким признакам, как повышенная шумность и стуки в отдельных частях, повышенный нагрев трущихся деталей, вибрация, дымность у двигателей внутреннего сгорания (ДВС), пропаривание у паровых турбин, пониженная мощность, неудовлетворительная работа регуляторов, снижение давления нагнетания у насосов и т.д. Подробная характеристика этих признаков ненормальной работы механизмов дана в правилах технической эксплуатации.

В настоящее время используются методы безразборной технической диагностики механизмов с применением специальной аппаратуры и приборов.

После оценки технического состояния механизмов во время работы их разбирают и очищают детали от масла и загрязнений.

Очищенные детали визуально осматривают для выявления поверхностных дефектов (наработок на рабочих шейках валов, задиров на рабочей поверхности втулок цилиндров, трещин в местах сопряжений поверхностей деталей, коррозионных разрушений, утонения деталей и т.д.). Дефектацию выполняют невооруженным глазом или с помощью оптических приборов: луп с 6–10-кратным увеличением, микроскопов, профилометров и профилографов, приборов для осмотра поверхностей глубоких отверстий и т.п. Осмотр деталей невооруженным глазом – наиболее простой метод контроля, однако его результаты субъективны и зависят от характера исследуемой поверхности, яркости света, способа освещения детали. Для улучшения видимости исследуемую поверхность часто предварительно протравливают кислотой.

Внутренние поверхности труб, глубокие сверления и тому подобное осматривают с помощью приборов, обеспечивающих повышенную освещенность поверхностей и фиксацию координат обнаруженных дефектов. Например, оптические трубоскопы позволяют обследовать в цеховых и судовых условиях внутренние поверхности труб, удаленные от глаз наблюдателя на 7,5 м, имеющие диаметр от 38 до 60 мм.

С помощью профилографов определяют шероховатость поверхностей и дают количественную оценку их микронеровностей.

Так как визуальным осмотром можно обнаружить не все дефекты, в дальнейшем детали и узлы механизмов и устройств подвергают специальным методам дефектоскопии с использованием различной аппаратуры.

Большинство дефектов элементов корпуса судна, систем и устройств (наружной обшивки корпуса, палуб, водонепроницаемых переборок, стального настила двойного дна, профилей набора, заклепочных и сварных швов) выявляют визуальным осмотром.

Так обнаруживают коррозионные разрушения, вмятины, гофры, трещины, деформации набора, нарушения целостности заклепочных и сварных соединений. У паровых котлов при осмотре выявляют трещины и коррозионные разрушения, выпучины на листах огневых камер, обгорания и разрывы водогрейных и дымогарных труб, течи в уплотнениях.

### **1.3.3 Отклонения формы и расположения поверхностей**

В основу классификации отклонений формы и расположения поверхностей деталей положены понятия о прилегающих поверхностях и профилях. Прилегающая плоскость или прилегающая прямая – это плоскость или прямая, соприкасающиеся с реальной поверхностью или профилем вне материала детали и расположенные по отношению к реальной поверхности или профилю так, что расстояние от их наиболее удаленной точки до прилегающей плоскости или прямой наименьшее.

Прилегающий цилиндр или прилегающая окружность для отверстия – это цилиндр или окружность наибольшего возможного диаметра, вписанные в реальную поверхность или в реальный профиль; для вала – это цилиндр или окружность наименьшего возможного диаметра, описанные вокруг реальной поверхности или реального профиля.

Отклонением формы называется отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы геометрической, заданной на чертеже поверхности или профиля; шероховатость поверхности при рассмотрении отклонений формы исключается.

Установлены следующие комплексные отклонения формы поверхности.

**Неплоскостность** (отклонение от плоскости) – это наибольшее расстояние от точки реальной поверхности до прилегающей плоскости. Элементарными видами неплоскостности являются вогнутость и выпуклость.

**Непрямолинейность** (отклонение от прямолинейности) – это наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой.

**Нецилиндричность** (отклонение от цилиндричности) – это наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра. Нецилиндричность включает в себя некруглость и отклонение профиля продольного сечения.

**Некруглость** (отклонение от круглости) – это наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности. Элементарными видами некруглости являются овальность и огранка.

**Отклонение** профиля сечения цилиндрической поверхности – это наибольшее расстояние от точек реального профиля до соответствующей стороны прилегающего профиля. В данном случае прилегающий профиль образуется двумя параллельными прямыми, соприкасающимися с реальным профилем вне материала детали и

расположенными по отношению к нему так, чтобы отклонение формы было наименьшим.

Отклонение профиля продольного сечения характеризует совокупность всех отклонений форм в этом сечении. Примерами отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности являются конусообразность, бочкообразность, седлообразность и изогнутость оси.

Отклонением формы поверхности является и волнистость, которая может встречаться как у плоских, так и у круглых поверхностей. Волнистостью поверхности называется отклонение от прямолинейности или от любой заданной формы поверхности, имеющее характер периодических возвышений и впадин. Форма волнистости чаще всего носит синусоидальный характер.

Отклонением расположения называется отклонение от номинального расположения рассматриваемой поверхности, ее оси или плоскости симметрии относительно баз или отклонение от номинального взаимного расположения рассматриваемых поверхностей. Базами являются совокупности поверхностей, линий и точек, по отношению к которым определяется расположение рассматриваемой поверхности. При определении отклонений расположения отклонения формы поверхности исключаются (кроме радиального и торцевого биения).

Установлены следующие отклонения расположения поверхностей.

**Непараллельность** (отклонение от параллельности) *двух плоскостей* (относительно друг друга) – это разность наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающими плоскостями на заданной площади или длине.

**Непараллельность осей поверхностей вращения** (или прямых в пространстве) – это непараллельность проекций осей на их общую теоретическую плоскость, проходящую через одну ось и одну из точек другой оси. **Переко́с** осей это непараллельность проекций осей на плоскость, перпендикулярную к общей теоретической плоскости и проходящую через одну из осей. Непараллельность оси поверхности вращения и плоскости – это разность наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающей плоскостью и осью поверхности вращения на заданной длине.

**Неперпендикулярность** (отклонение от перпендикулярности плоскостей, осей или оси и плоскости) – это отклонение угла между плоскостями, осями или осью и плоскостью от прямого угла ( $90^\circ$ ), выраженное в линейных единицах на заданной длине.

**Торцовое биение** – это разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной торцовой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра, до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения. Если размер диаметра не задан, то торцовое биение определяется на наибольшем диаметре торцовой поверхности. Торцовое биение включает в себя как отклонение формы, так и неперпендикулярность поверхности к базовой оси.

**Радиальное биение** – это разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном к этой оси. Радиальное биение является результатом смещения центра рассматриваемого сечения относительно оси вращения и некруглости.

**Несоосность** (отклонение от соосности) относительно базовой поверхности – это наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности и осью базовой поверхности на всей длине рассматриваемой поверхности или расстояние между этими осями в заданном сечении.

За общую ось двух поверхностей при контроле соосности универсальными средствами измерения принимается прямая, проходящая через эти оси в средних сечениях рассматриваемых поверхностей.

**Несимметричность** (отклонение от симметричности) – это наибольшее расстояние между плоскостью симметрии (осью симметрии) и базовой поверхностью.

**Непересечение осей** (отклонение от пересечения) – это кратчайшее расстояние между номинально пересекающимися осями.

Смещение оси от номинального расположения – это наибольшее расстояние между действительным и номинальным расположением оси (или плоскости симметрии) на всей длине рассматриваемой поверхности.

Принято считать, что если на чертеже детали отсутствуют указания относительно предельных отклонений формы и расположения поверхностей, то эти отклонения должны находиться в пределах допуска размера соответствующей поверхности (или отклонений формы) или в пределах допуска на размер положения соответствующих поверхностей. Если же по условиям работы изделия допуск на форму и расположение поверхностей детали должен составлять лишь часть допуска, назначают предельные отклонения.

#### ***1.3.4 Дефектоскопия, основанная на измерениях***

**Дефектоскопия механизмов.** Большую часть дефектов судовых механизмов и таких устройств, например, как дейдвудные и рулевые, выявляют при измерениях рабочих поверхностей деталей и замерах зазоров в сопряжениях. При этом определяют характер и степень износа сопряженных поверхностей.

Детали измеряют обычно микрометрическим инструментом (микрометрические скобы, микроштихмасы и т.д.) и штангенинструментом (штангенциркули, штангенглубиномеры), зазоры – пластинчатыми и клиновыми щупами, а также с помощью свинцовых оттисков.

Замеренные износы сравнивают с нормами, установленными заводами – изготовителями механизмов, Правилами Регистра или Правилами технической эксплуатации. Детали, у которых износы превышают установленные нормы, ремонтируют или заменяют.

Предельно допустимые износы устанавливают из условий достаточно надежной работы деталей на основе теоретических расчетов и опыта эксплуатации. Их дают обычно в виде таблиц или номограмм, в зависимости от номинальных размеров деталей, характера их сопряжения и условий работы узла.

Измерениям подвергают цилиндры и цилиндрические втулки, поршни, уплотнительные кольца поршней, поршневые штоки, рабочие шейки валов, шейки головных пальцев и цапф поперечин кривокопфов и другие детали.



Шейки валов измеряют, как правило, в трех сечениях и в каждом сечении в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рисунок 1.3). По полученным данным рассчитывают конусность, бочкообразность, корсетность (вогнутость) и овальность (эллиптичность), которые позволяют судить о характере износа.

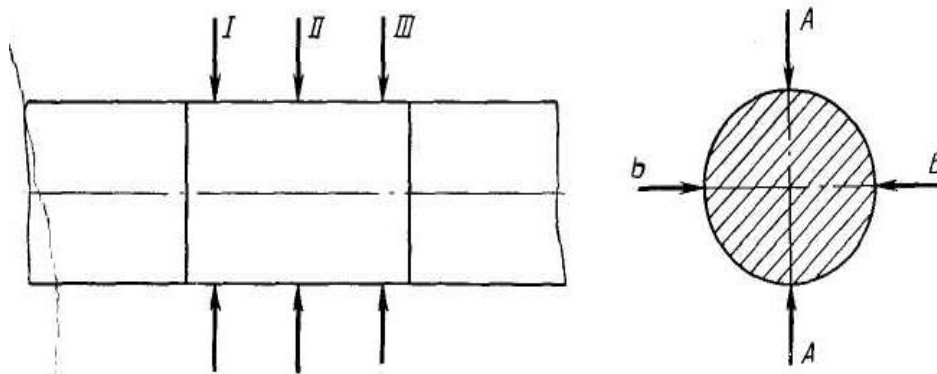


Рисунок 1.3 – Схема измерений рабочей шейки вала

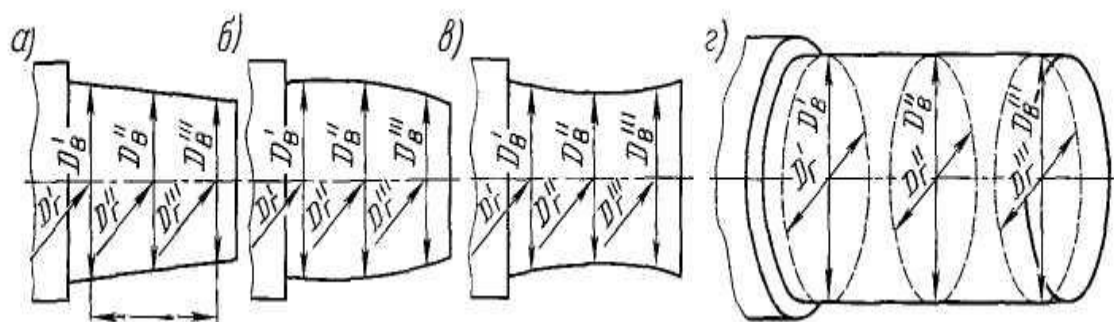
**Конусность  $K$**  в плоскостях: вертикальной (рисунок 1.4, а):

$$K_B = (D'_B - D'''_B) / L \quad (1.41)$$

**Овальность** (рисунок 1.4, з) рассчитывают, как разность взаимно перпендикулярных диаметров  $D_B$  и  $D_\Gamma$  для каждого из трех сечений:

$$K_\Gamma = (D'_\Gamma - D'''_\Gamma) / L \quad (1.42)$$

где  $L$  – длина рабочей части (база измерения), м.



а – конусность; б – бочкообразность; в – корсетность; з – овальность

Рисунок 1.4 – Примеры отклонений цилиндрических поверхностей от правильной геометрической формы

**Бочкообразность  $B$**  (рисунок 1.4, б):

$$B_B = D''_B - \min(D'_B, D'''_B)$$

(1.43)

$$B_{\Gamma} = D_{\Gamma}'' - \min(D_{\Gamma}', D_{\Gamma}'')$$

**Корсетность** (рисунок 1.4, в) находят из выражения:

$$B_B = \max(D_B', D_B'') - D_B''$$

(1.44)

$$B_{\Gamma} = \max(D_{\Gamma}', D_{\Gamma}'') - D_{\Gamma}''$$

Кроме характера, по измерениям определяют также износ деталей – увеличение (для втулок) и уменьшение (для валов) размеров. Результаты измерений заносят в специальные таблицы, форма которых должна быть удобной для определения характера и значения износа обмеряемой детали (таблица 1.1). Как правило, к таблице прилагают схему измерения размеров детали.

Таблица 1.1

Наименование и значение отклонения	Замеры, мм, в плоскости					
	А – А			Б – Б		
	I	II	III	I	II	III

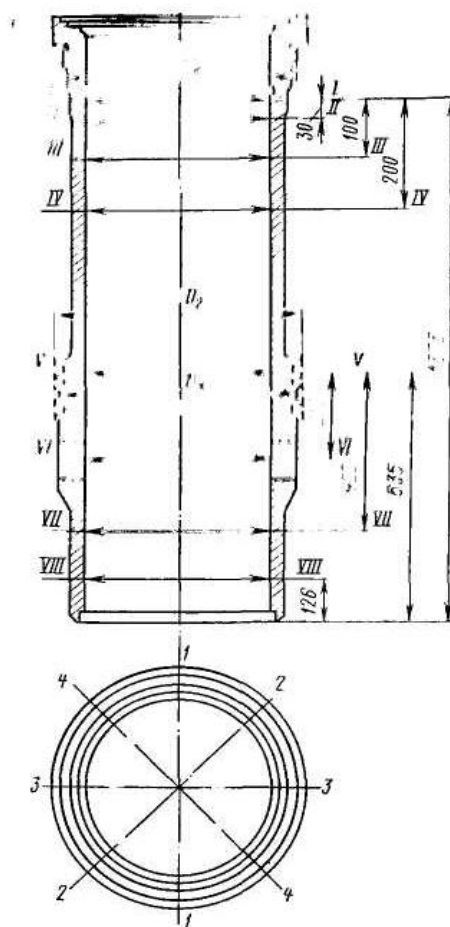
Замеряют также зазоры в подшипниках, между ползунами и параллелями, между поршнями и цилиндрами, в проточной части и уплотнениях турбин, в зацеплении зубчатых передач; определяют высоту камеры сжатия у двигателей.

Специальные замеры (замеры упругих расклепов щек кривошипов коленчатого вала двигателя, замеры, выполняемые при центровке деталей и узлов механизмов и устройств, замеры изломов и смещений при определении состояния центровки валопровода и др.) помогают уточнить общее техническое состояние механизма или его узла.

**Цилиндры и втулки главных и вспомогательных механизмов** в процессе эксплуатации изнашиваются – внутренний диаметр их увеличивается, на рабочих поверхностях появляются риски, задиры и наработки, возникают конусность, бочкообразность, корсетность и овальность. Такие дефекты, как риски, задиры и наработки, выявляют внешним осмотром, для определения изменений первоначальной геометрии рабочих поверхностей и их износа производят измерения (рисунок 1.5) микрометрическими штихмасами по сечениям в двух взаимно перпендикулярных плоскостях («по ходу» и «по оси»).

Количество сечений и расстояние между ними выбирают в зависимости от рекомендаций завода-строителя, а если их нет, то от размеров (диаметра и длины) цилиндра (втулки). Для цилиндров и втулок вспомогательных механизмов расстояние между сечениями принимают в пределах 100–150 мм, для главных двигателей – 250–

350 мм. У втулок двухтактных дизелей, кроме того, измеряют износ в районе перемычек выпускных и продувных окон.



**Рисунок 1.5 – Измерения втулки цилиндра дизеля ДКРН 50/110**

Для упрощения измерений применяют планку-шаблон с высверленными отверстиями (рисунок 1.6) завода-изготовителя.

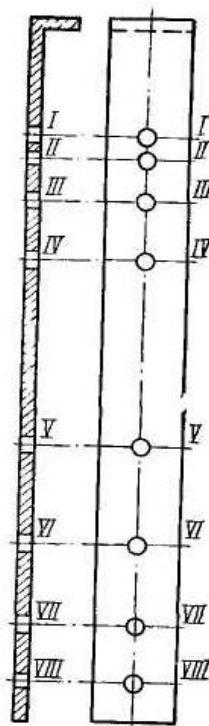


Рисунок 1.6 – Планка-шаблон для измерения втулки цилиндра

**Поршни цилиндров** изнашиваются от трения о стенки цилиндра, а у двигателей внутреннего сгорания, кроме того, подвергаются действию высоких температур, вследствие чего головки их обгорают и деформируются. В результате поршни в процессе эксплуатации неравномерно изнашиваются по диаметру и получают овальную форму в поперечных сечениях.

Для определения износа поршни или направляющие их части (тронки) измеряют по нескольким сечениям в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (одну из них выбирают в плоскости движения шатуна). Поршни без направляющих частей, а также с относительно короткими тронками измеряют по трем сечениям микрометрическими скобками. Микрометрическим штихмасом обмеряют отверстия для поршневого пальца (если они есть).

Кроме обмеров по наружному диаметру, у поршней измеряют высоту канавки для уплотнительных и маслосъемных колец телескопическими нутромерами или штангенциркулями.

**Уплотнительные кольца поршней** изнашиваются в местах прилегания к боковым поверхностям канавок поршней и по наружной цилиндрической поверхности. В результате высота колец и радиальная их толщина уменьшается, зазоры в канавках и замках увеличиваются. Износы колец регламентируют зазоры в канавках и в замках. Контролируют также упругость колец.

**Зазоры в канавках** измеряют в нескольких местах по окружности пластинчатым щупом при надетых кольцах на поршень. Для замера зазоров в замках кольца снимают с поршня и устанавливают в цилиндр в месте наименьшего диаметра. Проверяют также плотность прилегания колец к стенкам втулки цилиндра при помощи пластинчатого щупа.

**Поршневые штоки** изнашиваются от трения о детали уплотнительных сальниковых устройств. В результате штоки уменьшаются в диаметре, появляется

эллиптичность в поперечных сечениях, неравномерность диаметра по длине (волнистость), на рабочей поверхности образуются наработки, риски и задиры.

Для определения износов штоки измеряют микрометрическими скобами по сечениям через 100–200 мм в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

**Рабочие шейки валов** в результате износа уменьшаются в диаметре, на них появляются эллиптичность, конусность и бочкообразность. Кроме того, вследствие неравномерного износа и деформации вала шейки могут иметь биение (эксцентricность) относительно оси вращения вала. На шейках могут быть также кольцевые риски и задиры.

**Рабочие шейки валов** измеряют микрометрическими скобами в трех сечениях (два крайних, одно среднее) по двум взаимно перпендикулярным плоскостям. Исключение составляют рабочие шейки гребных и дейдвудных валов, длина которых в несколько раз больше их диаметра. Поэтому количество сечений в данном случае выбирают в зависимости от длины шейки, расстояние между ними – в пределах 200–300 мм.

У коленчатых валов одну плоскость измерений рамовых и мотылевых шеек принимают в плоскости кривошипа (рисунок 1.7). Шейки вала измеряют обычно после его подъема с подшипников. Однако поднимать вал главного тихоходного двигателя только для измерения рамовых шеек нерационально, поэтому для такой цели используют специальную трехконтактную скобу (рисунок 1.8), которая состоит из корпуса 1, двух призматических вкладышей 2, микрометрического винта 3 и индикатора 4 часового типа. Призматические вкладыши образуют между собой угол, равный  $2\alpha$  ( $\alpha = 19^\circ 28' 16''$ ). При этом расстояние от вершины угла между вкладышами до измеряемой поверхности (отрезок  $BO$ ) равно диаметру измеряемого вала (с точностью до 0,01 мм).

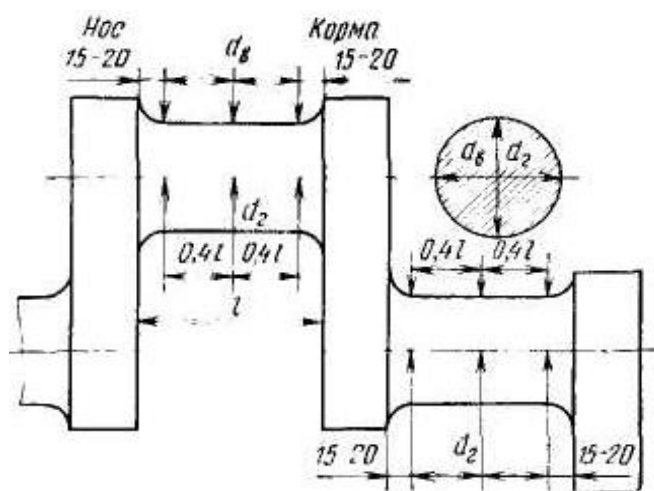
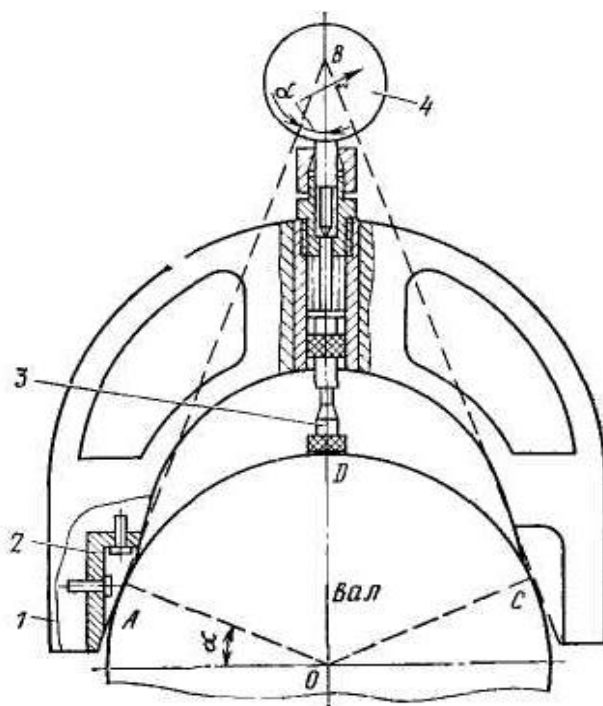


Рисунок 1.7 – Схема измерения шеек коленчатого вала

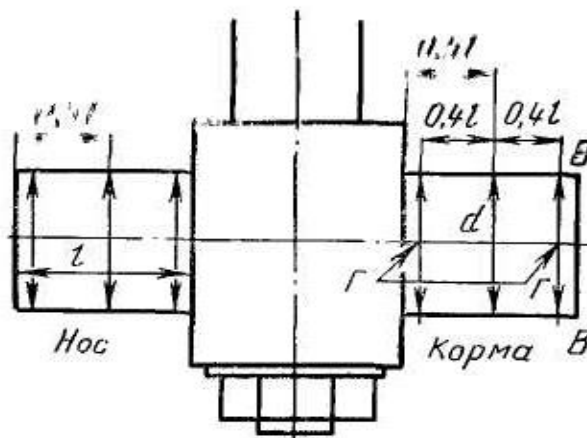


1 – корпус; 2 – призматически вкладыш; 3 – микрометрический винт; 4 – индикатор  
**Рисунок 1.8 – Трехконтактная скоба**

Для измерения рамовой шейки снимают крышку подшипника и на шейку вала устанавливают трехконтактную скобу. С помощью микрометрического винта и индикатора определяют расстояние  $BD$  в четырех (или восьми) положениях по окружности. Максимальная разность размеров в двух взаимно перпендикулярных положениях даст величину  $Ah$ . Если эту величину поделить на коэффициент, равный 2, получим овальность шейки в данном сечении.

Биение шеек измеряют индикатором часового типа при вращении вала в центрах токарно-винторезного станка или приспособления. Первоначальная проверка возможна на штатных подшипниках.

**Шейки головных пальцев и цапф поперечины крейцкопфа** изнашиваются аналогично шейкам валов. Поэтому и измеряют их так же (рисунок 1.9).

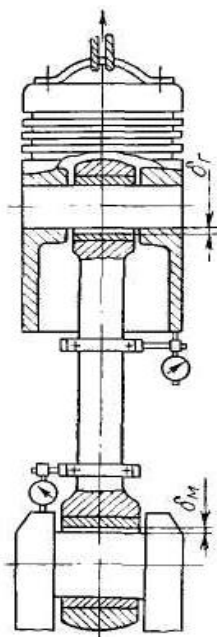


**Рисунок 1.9 – Схема измерения цапф поперечины крейцкопфа**

Износ подшипника можно определить по масляному зазору. У разъемных подшипников зазоры измеряют, как правило, с помощью свинцовых оттисков. Для получения оттисков используют свинцовую проволоку 0,6–1 мм, которую после снятия крышки подшипника укладывают в двух-трех сечениях на шейку вала. Толщина свинцовой проволоки (особенно для подшипников с белым антифрикционным сплавом) должна быть в 1,5–2 раза больше ожидаемого зазора в подшипнике. При большей толщине проволоки во время обжатия крышки возможна значительная деформация белого антифрикционного сплава подшипника, масляный зазор увеличивается. Толщину оттисков измеряют микрометром.

В случае, если ожидаемый зазор меньше 0,06–0,08 мм или антифрикционный металл имеет свинцовую основу, использовать свинцовую проволоку не допускается – зазор следует измерять щупом.

Для измерения зазоров в головных и мотылевых подшипниках двигателя без разборки механизма движения применяют следующий метод. На шатуне (рисунок 1.10) крепят два индикатора таким образом, чтобы стержень одного упирался в торец поршня, а второго – в щеку кривошипа. Подняв поршень вверх так, чтобы за ним до отказа поднялся шатун, по показаниям индикаторов определяют зазоры в подшипниках.



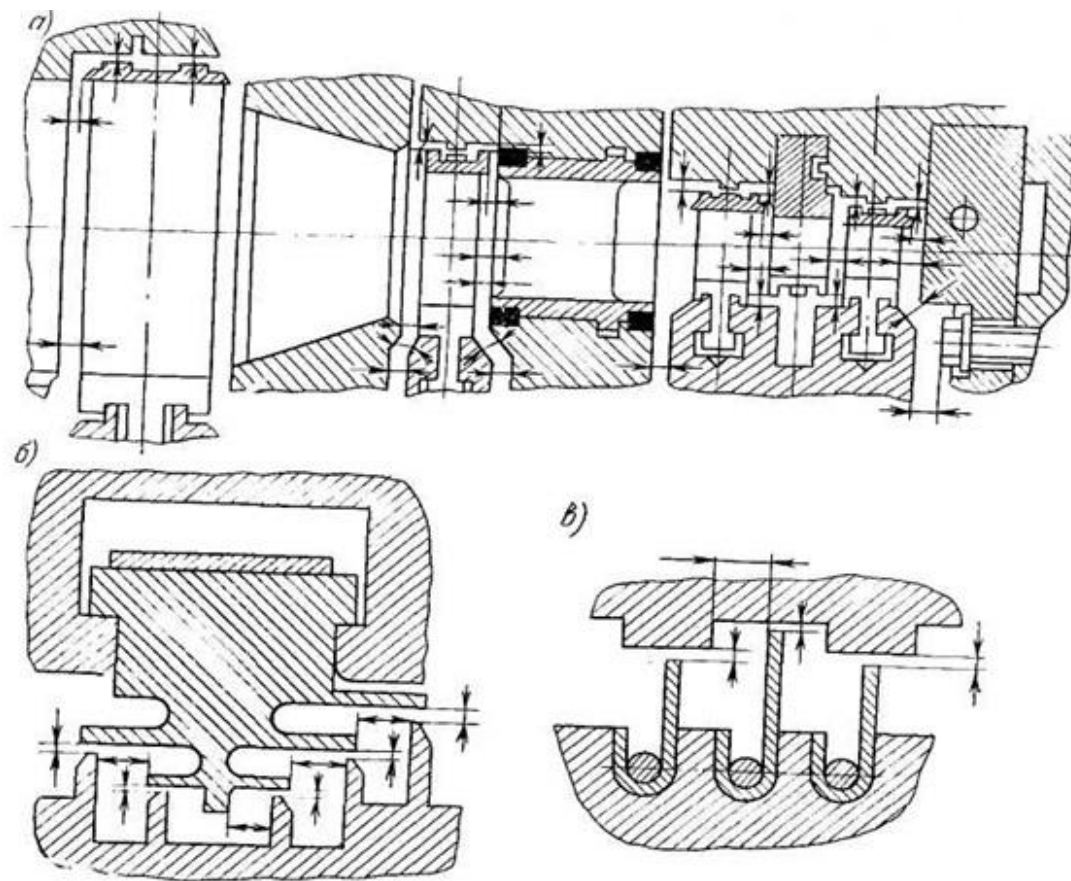
**Рисунок 1.10 – Схема измерения зазоров в головном и мотылевом подшипниках**

Зазоры между ползуном и параллелью измеряют пластинчатым щупом с рабочей и боковых сторон в трех положениях ползуна: верхнем, среднем и нижнем; зазоры между поршнем и цилиндром – пластинчатым щупом в четырех местах по окружности в трех положениях поршня: в верхней мертвой точке (ВМТ), средней и нижней мертвых точках (НМТ). Зазор может быть определен так же, как результат сопоставления измерений поршня и цилиндра.

Зазоры в проточной части и уплотнениях турбин измеряют во время профилактических вскрытий и текущего ремонта только в горизонтальной плоскости

при двух положениях ротора, отличных на  $90^\circ$ . Как радиальные, так и аксиальные зазоры определяют с помощью пластинчатых щупов (для небольших зазоров) и клиновых (для зазоров значением в несколько миллиметров). До измерений ротор в аксиальном направлении устанавливают в положение, указанное в формуляре (обычно сдвигают в корму до выбора зазора в упорном подшипнике турбины). Места замера зазоров показаны на рисунок 1.11.

После измерения зазоров проверяют разбег (аксиальное перемещение) ротора в упорном подшипнике и в проточной части. Для этого на разъем статора турбины устанавливают индикатор на штативе, а ножку его упирают в наружный торец обода диска (барабана) ротора. С помощью специального приспособления последовательно перемещают ротор в крайние носовое и кормовое положения и по разности отсчетов индикатора определяют разбег ротора в упорном подшипнике. Затем упорный подшипник разбирают и определяют разбег ротора в проточной части. После капитального ремонта турбины разбег ротора в проточной части проверяют без крышки статора и с крышкой. Цель этих проверок – определение минимальных зазоров в проточной части.



*a* – в проточной части; *б, в* – в уплотнениях турбин

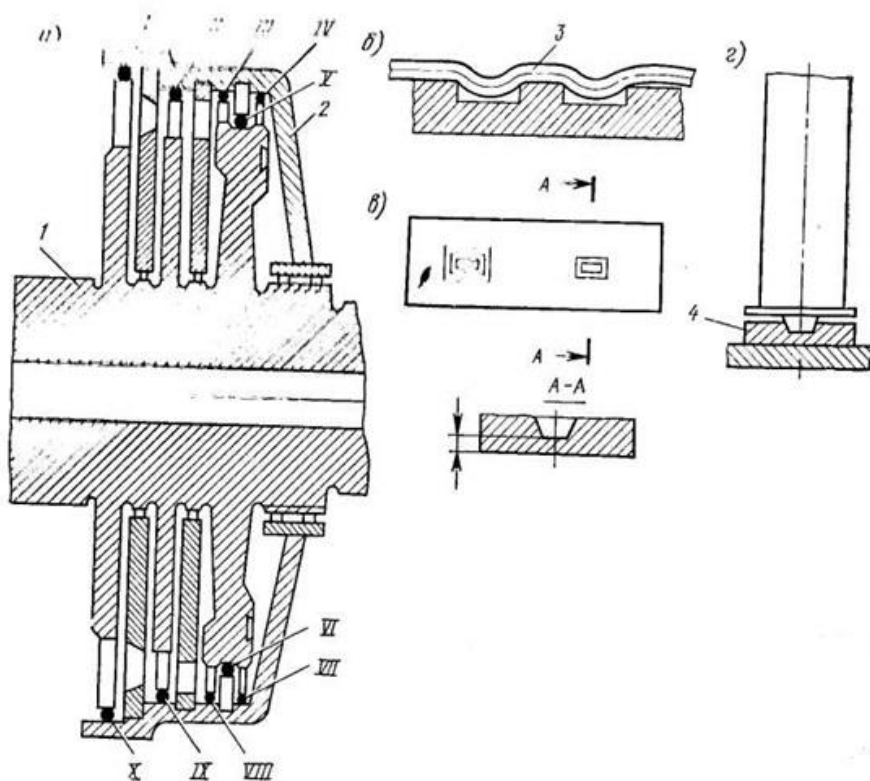
**Рисунок 1.11 – Места замера зазоров**

При капитальном ремонте дополнительно измеряют радиальные зазоры в вертикальной плоскости, используя свинцовые отски, толщину которых определяют



штангенциркулем. Делают это следующим образом (рисунок 1.12). После измерения зазоров в горизонтальной плоскости ротор 1 поднимают и раскрепляют сегменты уплотнений. В местах измерения I–X радиальных зазоров в проточной части турбины укладывают соответствующей толщины свинцовые кубики, а на ножи (или елочки) уплотнений – свинцовую проволоку 3.

Ротор опускают в статор. На ротор (в соответствующие места) вновь укладывают свинцовые кубики (в районе проточной части) и свинцовую проволоку (в районе уплотнений). Закрывают крышку 2 статора и обжимают ее несколькими болтами горизонтального разъема. Затем последовательно снимают крышку, поднимают ротор, обмеряют верхние и нижние свинцовые оттиски 4 и оттиски с уплотнений. Замеры записывают в формуляр турбины.



*a* – укладка свинцовых пластин; *б* – укладка свинцовой проволочки; *в* – измерение радиального зазора; *г* – положение свинцовой пластинки в момент ее сжатия

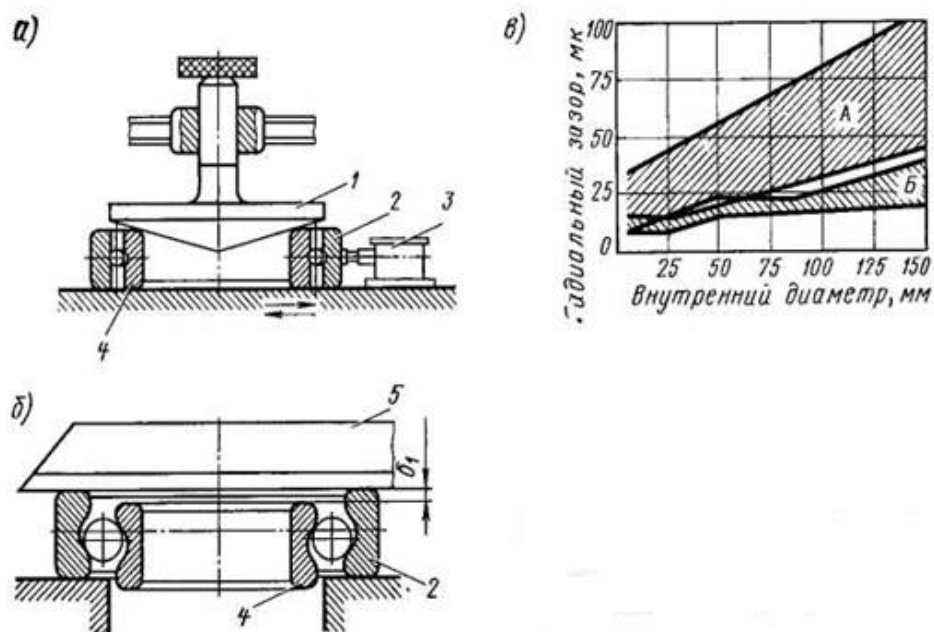
*1* – ротор; *2* – крышка статора; *3* – свинцовая проволока; *4* – свинцовые оттиски

**Рисунок 1.12 – Измерение радиальных зазоров в прочной части и в уплотнениях турбин**

Зазоры в зацеплении зубчатых передач измеряют с помощью свинцовых оттисков, для получения которых используют свинцовую проволоку диаметром несколько большим, чем ожидаемый зазор в зацеплении. Для определения боковых зазоров в зацеплении проволоку укладывают не менее чем в четырех местах по окружности в нормальном сечении колеса, тщательно огибая ее.

Замер осевых и радиальных зазоров в подшипниках качения выполняют с помощью специальных приспособлений. При измерении радиальных зазоров (рисунок 1.13, *a*) внутреннее кольцо 4 удерживают в неподвижном состоянии конусным

зажимным устройством 1, а наружное 2 – передвигают. Величина передвижения, замеренная индикатором 3, и является радиальным зазором подшипника. Осевые зазоры измеряют с помощью линейки 5, уложенной на торец наружного кольца, и щупа (рисунок 1.13, б). Подшипник наружным кольцом устанавливают на две опоры так, чтобы внутреннее кольцо свободно провисало.



а – радиальных; б – осевых; в – диаграмма  
1 – зажимное устройство; 2 – наружное кольцо; 3 – индикатор; 4 – внутреннее кольцо; 5 – линейка

**Рисунок 1.13 – Измерение зазоров подшипников качения**

Радиальный зазор может быть оценен по диаграмме предельно допустимых радиальных зазоров (рисунок 1.13, в). На диаграмме обозначено поле допуска радиальных зазоров в радиальных подшипниках: площадью А – однорядных шариковых, площадью Б – с короткими цилиндрическими роликами.

Кроме зазоров, у подшипников качения определяют **оставшуюся расчетную долговечность**:

$$h_{\text{ост}} = h - h_{\text{нар}} \quad (1.45)$$

где  $h$  – расчетная долговечность, приведенная в технической документации механизма или справочной литературе, ч;

$h_{\text{нар}}$  – наработка, ч.

Подшипник при нормальных зазорах может быть использован только в том случае, если  $h_{\text{ост}}$  имеет достаточно большое значение.

### **1.3.5 Технические средства дефектоскопии**

Наружным осмотром и измерениями удастся выявить далеко не все дефекты деталей механизмов и конструкций. Поэтому при ремонте механизмов широко применяют **технические средства**, в частности гидравлические и воздушные испытания.

Эти испытания используют для определения достаточной прочности и плотности паровых котлов, систем, конструкций корпуса, а также узлов и деталей механизмов, которые во время работы подвергаются давлению пара, газа или жидкости.

**Гидравлические испытания** заключаются в том, что испытываемая конструкция в зависимости от ее назначения заполняется водой под напором или без напора. Конструкцию считают непроницаемой, если на проверяемых поверхностях не обнаружено течи в виде струй и стекающих капель.

**При воздушных испытаниях** конструкцию заполняют сжатым воздухом. Значение избыточного давления принимают таким, чтобы напряжения, возникающие в материале, не превышали 0,8 предела текучести.

После заполнения конструкции сжатым воздухом все проверяемые поверхности смачивают мыльным водным или специальным пенообразующим раствором, который позволяет обнаруживать неплотности, т.е. сквозные дефекты.

Конструкция считается непроницаемой, если падение давления сжатого воздуха не превышает нормы, установленной в зависимости от назначения конструкции.

### **1.3.6 Физические неразрушающие методы контроля**

**Неразрушающие методы контроля качества продукция** – это методы, применение которых не нарушает пригодность детали к использованию по назначению.

**Физические неразрушающие методы контроля** предназначены для обнаружения поверхностных, подповерхностных и внутренних дефектов, а также определения структуры и свойств металла, полученных в результате различных видов упрочняющей обработки.

В дефектоскопии существует большое количество неразрушающих методов контроля, основанных на различных физических явлениях и закономерностях.

Из всего их многообразия в судоремонте нашли применение следующие методы:

- магнитопорошковый;
- ультразвуковой;
- вихретоковый;
- капиллярные;
- рентгено - и гаммаграфирование.

**Магнитопорошковый метод контроля** предназначен для обнаружения поверхностных и подповерхностных (на глубине не более 2 мм) дефектов в деталях, изготовленных из ферромагнитных металлов. Этим методом могут быть выявлены усталостные, шлифованные и термические трещины, волосовины, закаты.

Для ферромагнитных металлов метод обладает наиболее высокой чувствительностью по сравнению с другими неразрушающими методами.

Физическое существо метода заключается в создании магнитного поля рассеивания над дефектом при намагничивании детали и выявлении этого поля при помощи магнитного порошка.

Если деталь имеет форму цилиндра и ее материал однороден по магнитным свойствам, то при ее намагничивании силовые линии поля будут распространяться в нем, не изменяя направления. В случае нарушения однородности металла дефектом, например, трещиной, возникает участок с пониженной магнитной проницаемостью, и магнитные силовые линии изменяют свое направление.

При определенных условиях магнитные силовые линии, огибая дефект, могут выйти за пределы детали, т.е. образовать поле рассеивания. Напряженность поля рассеивания над дефектом, а, следовательно, и его выявляемость, зависит в основном от трех факторов:

- ориентации плоскости дефекта к направлению магнитного потока;
- глубины залегания дефекта;
- напряженности намагничивающего поля.

Наилучшая выявляемость дефекта обеспечивается в том случае, когда его плоскость расположена перпендикулярно направлению магнитного потока. С этой целью осуществляют следующие способы намагничивания деталей при контроле:

1. продольный;
2. циркулярный;
3. комбинированный.

**При продольном способе** намагничивания магнитное поле направлено вдоль детали, образуя на ее концах магнитные полюса (рисунок 1.14).

**При циркулярном способе** намагничивания магнитное поле замыкается в детали, не образуя на ее концах магнитных полюсов (рисунок 1.15).

**Комбинированный способ** предусматривает намагничивание детали двумя и более магнитными полями с различным направлением (рисунок 1.16).

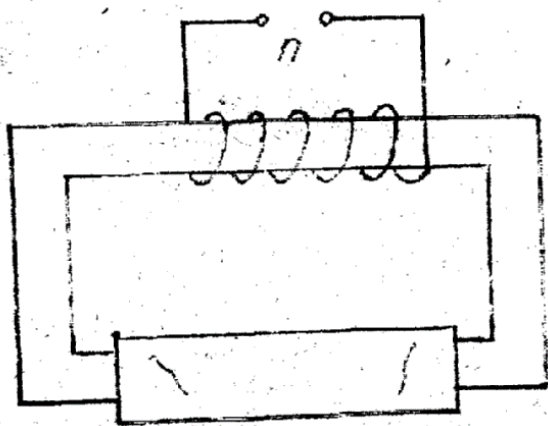


Рисунок 1.14 – Схема продольного способа намагничивания

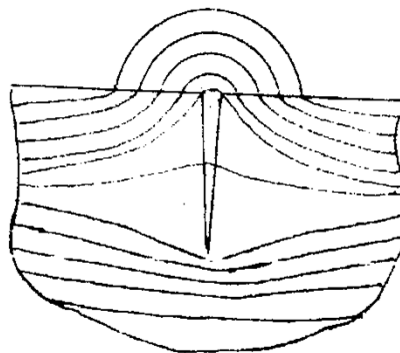


Рисунок 1.15 – Схема циркуляционного способа намагничивания

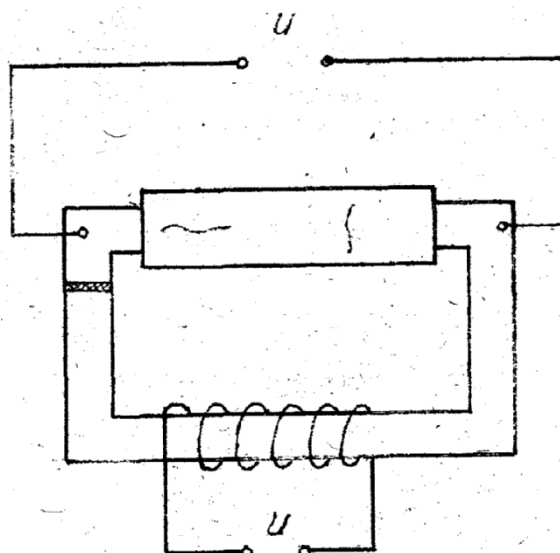


Рисунок 1.16 – Схема комбинированного способа намагничивания

**При циркулярном способе** намагничивания будут выявлены продольные дефекты при продольном — дефекты, направленные, как правило, перпендикулярно оси детали, а при комбинированном — дефекты, ориентированные в любом направлении относительно оси детали.

Отсюда следует, что выбор способа намагничивания детали определяется предполагаемым, в зависимости от характера действующих нагрузок, направлением дефектов.

**Применяют два способа магнитопорошкового контроля:**

1. в приложенном магнитном поле;
2. в поле остаточной намагниченности.

**Контроль в приложенном поле** предусматривает нанесение на поверхность контролируемой детали магнитного порошка в период действия намагничивающего поля. В это время происходит формирование индикаторного следа дефекта.

**Контроль в поле остаточной намагниченности** осуществляется при нанесении на поверхность детали магнитного порошка после намагничивания детали. Формирование индикаторного следа дефекта происходит под действием остаточного поля рассеивания.

**Способ приложенного поля** можно применять при контроле деталей, изготовленных из любого ферромагнитного металла, имеющего относительную магнитную проницаемость не менее 40.

**Способом остаточной намагниченности** контролирует детали, металл которых обладает достаточной коэрцитивной силой и индукцией для образования рассеивания над дефектом необходимой напряженности.

При неизвестных магнитных характеристиках металла контролируемой детали должен применяться способ контроля в приложенном поле.

Индикатором дефектов при магнитопорошковом методе контроля является магнитный порошок (рисунок 1.17).

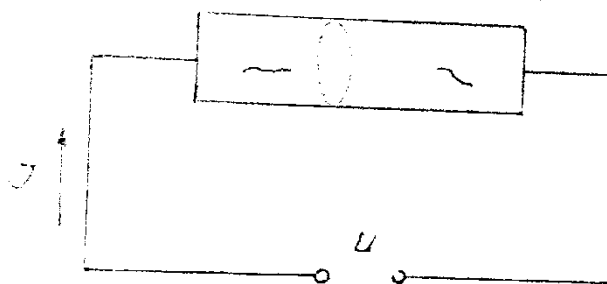


Рисунок 1.17 – Индикаторный след дефекта

При контроле деталей со светлой поверхностью рекомендуется использовать черные порошки, с темной поверхностью – магнитолюминисцентные порошки.

**Применяют два способа нанесения магнитного порошка на поверхность** контролируемой детали: сухой и мокрый.

*Сухой способ* нанесения порошка осуществляется напылением его на деталь или окунанием в воздушную взвесь порошка.

*Мокрый способ* предусматривает нанесение на поверхность деталей магнитной суспензии (взвесь магнитного порошка в масле, воде или керосине) чаще всего поливом. Мокрый способ нанесения магнитного порошка наиболее широко распространен на практике.

Чувствительность магнитопорошкового метода контроля определяется рядом факторов, основными из которых являются:

1. напряженность магнитного поля;
2. взаимное направление магнитного поля и плоскости дефекта;
3. шероховатость поверхности деталей;
4. магнитные характеристики металла детали;
5. качество магнитного порошка или суспензии.

ГОСТ 21105-87 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод» устанавливает три условных уровня чувствительности в зависимости от размеров выявляемых поверхностных дефектов.

Таблица 1.2 – Условные уровни чувствительности при магнитопорошковом контроле при протяженности дефектов более 2000 мкм

Условный уровень чувствительности	Размеры выявляемых эталонных дефектов, мкм	
	Раскрытие	Глубина
<i>A</i>	2,5	25
<i>B</i>	10,0	100
<i>B</i>	25,0	250

Условный уровень чувствительности *A* может быть достигнут при контроле деталей с шероховатостью не выше  $R_a \approx 1,6$  мкм, а уровни чувствительности *B* и *B* – с параметрами микрорельефа  $R_z \leq 40$ .

В зависимости от требуемой чувствительности контроля и магнитных свойств металла контролируемой детали определяют режимы намагничивания – напряженность поля и силу намагничивающего тока.

Размагничивание, независимо от способа его проведения, заключается в перемагничивании детали в периодически изменяющемся магнитном поле с постепенным уменьшением его индукции до нуля.

Допускается не размагничивать детали, если она не имеют трущихся поверхностей, их намагниченность не затрудняет сборку узлов и не влияет на показания окружающих приборов, а также в том случае, если они после контроля подвергаются нагреву выше 650°C.

Для проведения магнитопорошкового контроля используют соответствующие дефектоскопы, которые подразделяют на универсальные и специализированные. Универсальные дефектоскопы предназначены для контроля деталей большой номенклатуры и обеспечивают регулировку режимов в широких пределах. Специализированные дефектоскопы предназначены для контроля деталей одного наименования.

Универсальные дефектоскопы изготавливают в стационарном, передвижном и переносном исполнениях.

На предприятиях речного транспорта магнитопорошковым методом контролируют все основные детали дизелей при капитальном ремонте в специализированных цехах, а также детали валовой группы и винторулевого комплекса при нахождении судна на стапеле.

**Ультразвуковой метод контроля** предназначен для выявления внутренних и поверхностных дефектов в деталях относительно простой – конфигурации и сварных швах. Могут быть обнаружены дефекты, типа раковин, трещин, шлаковых включений, флокенов; расслоений и отслоений.

При контроле ультразвуком возможно определить координаты залегания дефектов. Характер дефектов в большинстве случаев определить не удастся.

**Ультразвук** – это механические колебания среды с частотой свыше 20 тысяч герц.

*Ультразвуковой метод контроля* основан на исследовании процесса распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в контролируемом материале.

В ультразвуковых дефектоскопах обычно используются частоты: 0,6; 1,8; 2,5 и 5 МГц.

Ультразвуковые колебания таких частот обладают свойствами направленного распространения в упругой однородной среде и могут проникать на значительную глубину. Наличие каких-либо неоднородностей в среде искажает картину распространения колебаний, вызывая их отражение и преломление.

Направленность распространения УЗК и отражение их от границы раздела двух сред (например, металл–воздух) являются физическими закономерностями, лежащими в основе ультразвукового метода контроля.

Ультразвуковые колебания для целей дефектоскопии обычно получают с помощью пьезоэлектрических пластин – вибраторов, которые обладают тем свойством, что при подаче на них электрических сигналов пластины изменяют свои размеры с частотой, равной частоте подаваемого тока, и, наоборот, при деформации пластины на ее поверхности появляются электрические заряды.

Таким образом, пьезоэлектрические пластины могут служить излучателями УЗК и посылать их в контролируемую деталь, а также приемниками УЗК и принимать отраженные колебания, преобразуя их в переменный электрический ток.

Для удобства практического использования пьезоэлектрические пластины или (вибраторы) монтируют в искательных головках пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП).

При ультразвуковом контроле колебания в металл могут вводиться перпендикулярно контролируемой поверхности или под углом к ней. Для этой цели соответственно используют прямые ПЭП или наклонные (призматические).

В металле изделия в общем случае можно возбуждать волны (УЗК) двух типов: продольные и поперечные. ПЭП любого типа излучает продольную волну. Трансформация продольной волны в поперечную происходит в металле изделия, если продольная волна вводится в него под некоторым углом.

Если ультразвуковая волна вводится в изделие под углом, то при этом в общем случае еще четыре волны (рисунок 1.18) две отраженные (продольная  $C_{l1}$  и поперечная  $C_{t1}$ ) и две преломленные (продольная  $C_{l2}$  и поперечная  $C_{t2}$ ).

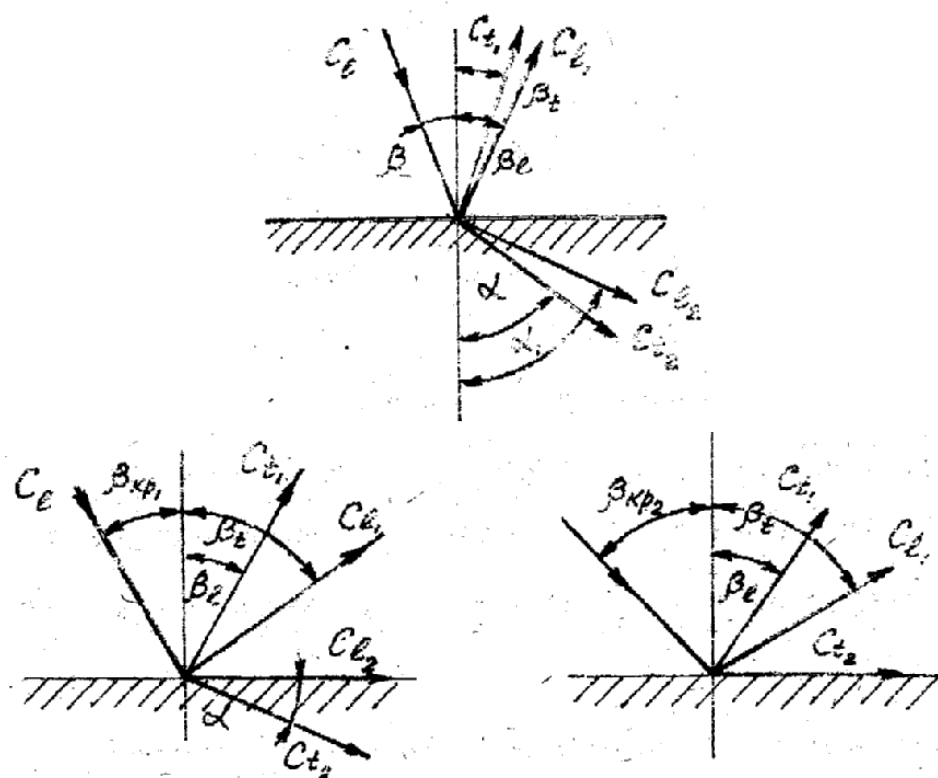


Рисунок 1.18 – Отражение и преломление волн на границе твердых сред

При увеличении угла падения продольной волны, начиная с некоторого его значения  $\beta_{кр}$ , называемого **первым критическим углом**, преломленная продольная волна не будет проникать во вторую среду, т.е.  $\alpha_l = 90^\circ$ .

При дальнейшем увеличении угла падения до значения  $\beta_{кр2}$  – второго критического угла – поперечная преломленная волна также не будет проникать во вторую среду. При углах падения ультразвуковой волны в диапазоне от  $\beta_{кр1}$  до  $\beta_{кр2}$ , во второй среде будет возникать только поперечная волна. Этим пользуются при контроле



качества изделий, так как распространение в металле волн одного типа значительно облегчает процесс контроля. Поэтому наклонные ПЭП изготавливаются с углом падения от  $\beta_{кр1}$  до  $\beta_{кр2}$ .

Для прозвучивания материала продольной волной используют прямые ПЭП, излучающие продольную волну перпендикулярно к поверхности. Если акустические сопротивления материала ПЭП и изделия одинаковы, то ультразвуковая волна полностью без отражения переходит в деталь (рисунок 1.19).

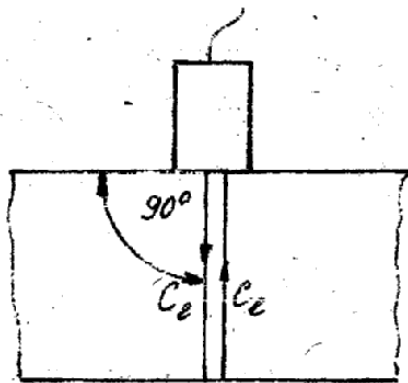
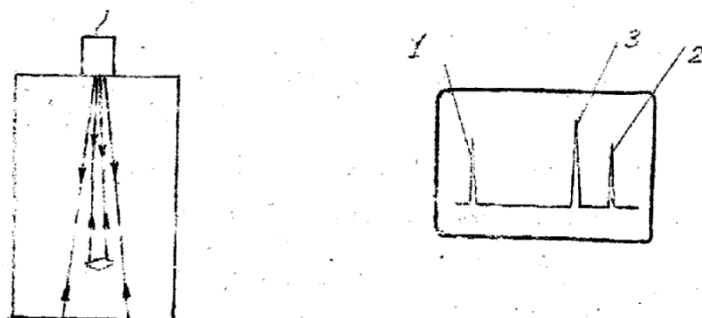


Рисунок 1.19 – Прохождение волн при контроле прямым пьезопреобразователем

В ультразвуковой дефектоскопии для прозвучивания изделий широкое распространение получили два способа: импульсный эхо-способ и теневой.

**При эхо-способе** в исследуемую деталь вводятся импульсы УЗК, излучаемые вибратором. Длительность импульсов 1–3 мкс, с промежутком между ними до 0,1 с. За этот промежуток времени импульсы УЗК, при отсутствии в детали дефектов, доходят до дна, отражаются и воспринимаются тем же вибратором, преобразующим их в электрические колебания, и фиксируются на экране электронно-лучевой трубки в виде донного импульса (рисунок 1.20).

При наличии дефекта УЗК отражаются от него раньше, чем от дна, и соответственно на электронно-лучевой трубке фиксируется в виде импульса, расположенного между донным и начальным (зондирующим) импульсами. Достоинствами этого способа прозвучивания являются возможность контроля детали при доступе только с одной стороны, измерение координат дефекта и использование одного пьезоэлектрического преобразователя – и излучателя, и приемника.



1 – зондирующий импульс; 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

Рисунок 1.20 – Схема эхо – способа прозвучивания

Из существа ультразвукового контроля следует, что на электронно-лучевой трубке возникает временная диаграмма, соответствующая распространению УЗК в детали. Горизонтальная линия на экране является осью времени, ее начало совпадает с моментом посылки импульсов УЗК в деталь.

Длина горизонтальной линии на экране между начальным и донным сигналами представляет масштабное изображение толщины контролируемой детали.

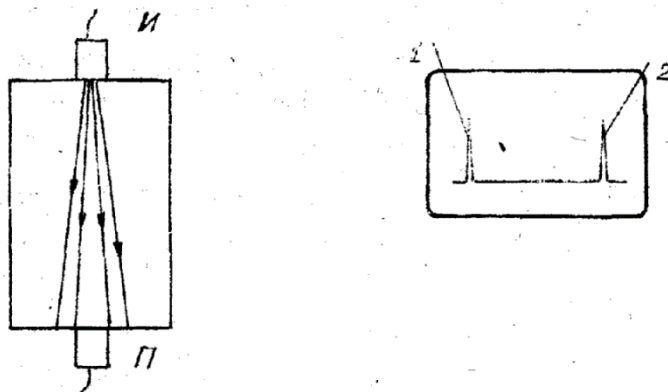
Зная скорость распространения УЗК, а также время между моментом излучения и приема, отраженного от дефекта или дна импульса, определяют глубину залегания дефекта или толщину детали.

В современных дефектоскопах координаты дефекта определяются с помощью электронного глубиномера.

*Недостатком эхо-способа* прозвучивания является наличие «мертвой зоны» по толщине детали, т.е. такой зоны, в пределах которой невозможно обнаружить дефекты в контролируемом поверхностном слое изделия.

Наличие «мертвой зоны» объясняется тем, что колебания, отраженные от дефектов в тонком поверхностном слое, приходят к преобразователю раньше, чем он начинает работать в режиме приемника.

*При теневом способе* прозвучивания изделий используются два ПЭП, расположенные по одной оси с противоположных сторон детали (рисунок 1.21). При этом один ПЭП служит излучателем и передает УЗК в материал изделия, а другой – приемником. На экране электронно-лучевой трубки при этом способе прозвучивания возникают два импульса: зондирующий – и второй – прошедший через деталь к приемнику. О наличии дефекта при теневом способе судят по уменьшенной амплитуде или исчезновению второго импульса. Если есть дефект, перекрывающий полностью пучок ультразвуковых колебаний от излучателя, то приемный ПЭП находится в области ультразвуковой тени.



1 – зондирующий импульс; 2 – принятый импульс

Рисунок 1.21 – Схема теневого способа прозвучивания

*Недостатками этого способа* прозвучивания являются необходимость использования двух ПЭП жестко и соосно друг с другом связанных, доступа к детали с двух противоположных сторон и невозможность измерения глубины залегания дефекта.

К достоинствам способа следует отнести отсутствие при контроле «мертвой зоны».

Из рассмотренных способов прозвучивания изделий чаще всего используют эхо-импульсный.

На предприятиях речного транспорта ультразвуковым методом контролируют качество следующих деталей: подшипников (качество заливки), поковок валов и баллеров рулей, лопастей гребных винтов, участков ответственных отливок, а также сварных швов корпусов судов.

**Капиллярные методы контроля** предназначены для выявления поверхностных дефектов в деталях из немагнитных материалов. Могут быть проконтролированы также детали из магнитных материалов, если по каким-либо причинам их невозможно или нецелесообразно проверять магнитными методами.

Капиллярными методами выявляются дефекты, характеризующиеся, в основном, большим отношением глубины к ширине (раскрытию) при ограниченной ширине (0,1–0,15 мм).

К таким дефектам могут быть отнесены трещины, расслоения, поры в деталях из цветных и черных металлов.

Физическими закономерностями, положенными в основу капиллярных методов контроля, являются: смачивание жидкостью поверхности металла, ее поверхностное натяжение и увеличение объема жидкости при нагревании.

*Сущность контроля капиллярными методами сводится к следующему.*

На поверхность контролируемой детали наносят проникающую жидкость, которая заполняет поверхностные дефекты. Через определенное время, необходимое для проникновения части жидкости в наиболее мелкие дефекты, избыток жидкости с поверхности удаляют. Оставшуюся в дефектах жидкость выявляют с помощью проявляющих составов, которые впитывают в себя жидкость, образуя индикаторные следы дефектов. Ширина этих следов значительно превышает раскрытия, связанных с ними дефектов. Это дает возможность обнаруживать индикаторные следы невооруженным глазом и определять места залегания дефектов.

Процесс проникновения жидкости в полость дефекта схематично можно представить следующим образом. Хорошо смачивающая металл жидкость перемещается вдоль стенок дефекта и образует сильно вогнутый мениск.

Поверхностное натяжение жидкости обеспечивает подтягивание основной массы жидкости и способствует быстрейшему заполнению полости дефекта (рисунок 1.22).

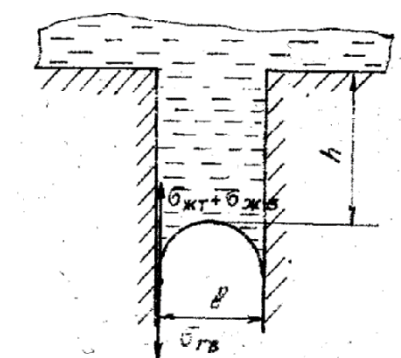


Рисунок 1.22 – Проникновение жидкости в капилляр

Чувствительность капиллярных методов контроля ограничивается верхним и нижним предельными размерами дефектов. Верхний предел чувствительности определяют максимальной величиной раскрытия дефекта ограничивающей его выявляемость вследствие потери дефектом свойств капилляра или из-за интенсивного вымывания проникающей жидкости из дефекта. Нижний предел чувствительности определяют минимальной величиной раскрытия дефекта, ограничивающей его выявляемость вследствие потери светового или цветового контраста проникающей жидкости.

Смачивающая жидкость легко проникает лишь в том случае, если полость дефекта свободна от загрязнений. Поэтому при недостаточно тщательной очистке деталей во время ремонта (а это не всегда возможно) от масла, продуктов коррозии и т.д., капиллярные методы могут оказаться неэффективными для обнаружения эксплуатационных дефектов.

Из всего многообразия капиллярных методов контроля наиболее широко применяются два – люминесцентный и цветной, различающиеся между собой по типу проникающих жидкостей.

При люминесцентном методе контроля используют люминесцирующие в ультрафиолетовом освещении проникающие жидкости. В цветном методе применяют цветные проникающие составы, хорошо контрастирующие с цветом проявителя при дневном или искусственном освещении.

Основой проникающих составов является маловязкая жидкость – как правило, керосин.

В проникающий состав для люминесцентного контроля добавляют люминофор – вещество, способное светиться под действием ультрафиолетовых лучей. В основе люминесценции лежит поглощение кванта световой энергии атомом люминофора. При этом энергетический запас атома возрастает, но приобретенный избыток энергии не сохраняется длительное время. Отдача энергии происходит в виде светового же излучения, но с большей длиной волны. Это явление и носит название люминесценции.

В качестве проникающих жидкостей при цветном контроле используют составы, окрашенные в красный цвет, за счет добавки специальных красителей. Основным компонентом проявляющих составов является вещество, обладающее свойством адсорбции – способностью впитывать в себя проникающую в полость дефектов жидкость.

В качестве таких веществ используют силикогель, тальк, асканит.

В люминесцентной дефектоскопии проявитель наносят на поверхность детали чаще всего в виде порошка.

При использовании цветного метода применяют, как правило, мокрый способ нанесения проявителя – взвесь указанных порошков в этиловом спирте.

Технология контроля деталей капиллярными методами состоит из следующих операций.

1. **Подготовка деталей к контролю.** Целью этой операции является очистка полости дефектов от загрязнений, смазки и удаление с поверхности детали нагара, окисных и масляных пленок.

Очистку поверхности от нагара и окисных пленок производят обычными методами в процессе подетальной мойки. Обезжиривание деталей осуществляют в бензине или ацетоне путем окунания деталей в баки, выдержки в них 2–3 мин. После обезжиривания детали просушивают на воздухе 10–15 мин. или с подогревом. В результате проведения первой операции полость дефекта должна быть полностью очищена (поз. 1, рисунок 1.23).

2. **Нанесение на поверхность детали проникающей жидкости** (поз. 2, рисунок 1.23). Целью операций является заполнение полостей дефектов проникающим составом. Возможны три способа нанесения жидкости: окунание в ванну, дождевание поверхности и смачивание ее кистью.

При использовании кистей производят смачивание 3–4 раза через 2–3 мин. При этом нельзя допустить высыхания смачиваемого участка. Общая длительность выдержки детали под проникающей жидкостью от 5 до 15 мин. в зависимости от способа нанесения и величины выявляемых дефектов.

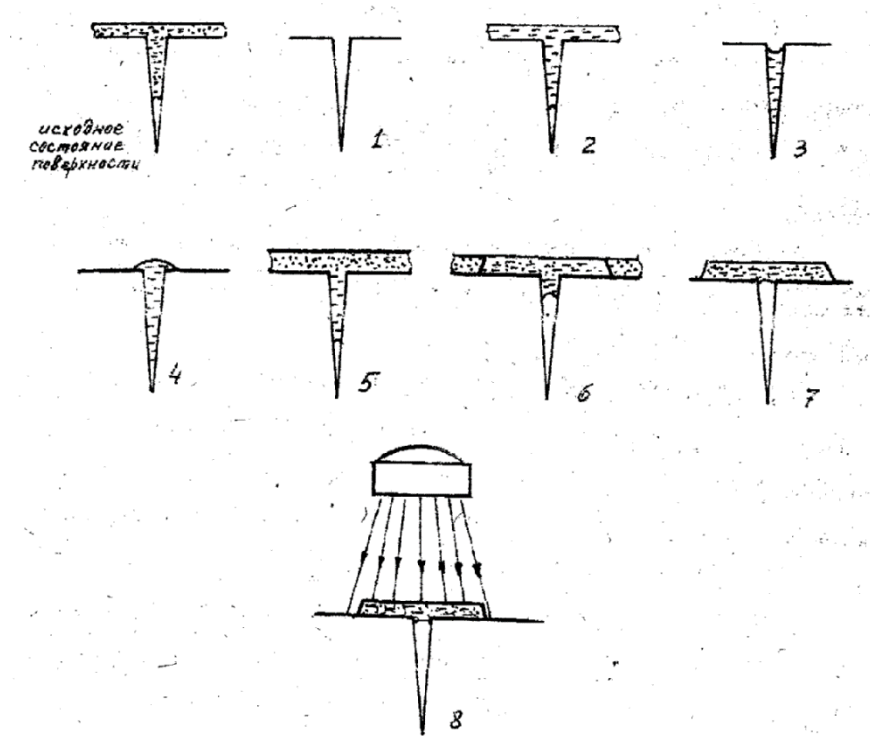


Рисунок 1.23 – Последовательность операций при люминесцентном контроле

3. **Удаление проникающей жидкости с поверхности детали.** Назначение операции – снять жидкость с поверхности детали и оставить ее в полости дефектов (поз. 3, рисунок 1.23).

При люминесцентном контроле применяют два основных способа удаления проникающей жидкости: струей воды и промывкой деталей водно-воздушной смесью под давлением 0,3–0,4 атм. Промывка должна осуществляться быстро, сильной струей воды или водно-воздушной смеси, направленной по касательной к поверхности детали.

Удаление проникающей краски с поверхности детали при цветном контроле производят марлей, смоченной очищающим составом. Избыток очищающего состава удаляют пропиткой сухой марлей (поз. 3, рисунок 1.23).

4. Следующей операцией при люминесцентном контроле **является сушка детали**. Поверхность детали сушат в струе теплого (60–80°C) воздуха. Сушку производят быстро и до полного исчезновения следов воды. При нагреве поверхностного слоя металла за счет разницы в коэффициентах объемного расширения жидкости и металла происходит вытеснение жидкости из полости дефекта и образование ее бугорка по всей длине дефекта (поз. 4, рисунок 1.23). Кроме этого, при нагревании уменьшаются вязкость и поверхностное натяжение жидкости, что облегчает впитывание ее проявляющим порошком.

5. **Нанесение проявляющего состава**. При люминесцентном контроле производят после сушки детали, а при цветном – сразу же после удаления проникающего состава.

Целью операции является извлечение жидкости из полости дефекта и образование четких индикаторных следов на поверхности детали.

При люминесцентном контроле адсорбирующий порошок наносят на поверхность детали распылением. Он контактирует с проникающей жидкостью (поз. 5, рисунок 1.23) и впитывает ее в себя, образуя смоченную полоску порошка. Под порошком деталь выдерживают от 2 до 10 мин. По истечении этого времени деталь обдувают слабой струей воздуха или встряхивают. При этом сухой порошок удаляется с поверхности, а влажный остается, образуя индикаторный след дефекта (поз. 7, рисунок 1.23).

При цветном контроле проявляющий состав наносят распылением или кистью тонким слоем (15–20 мкм). Поскольку основой проявляющих составов являются быстроиспаряющиеся компоненты, то в течение 3–5 мин. после нанесения проявляющего состава протекают два процесса: впитывание проявителем проникающего состава и высыхание проявляющего состава.

Эти процессы обуславливают получение индикаторного следа на поверхности детали.

6. **Осмотр детали** (поз. 8, рисунок 1.23). При люминесцентном контроле производят через 10 мин. после нанесения проявляющегося состава при облучении поверхности ультрафиолетовыми лучами, а при цветном – при обычном освещении. Цель осмотра – обнаружить визуально индикаторные следы дефектов.

При люминесцентном контроле проникающая жидкость при облучении ультрафиолетом имеет желто-зеленый цвет, контрастирующий с темно-фиолетовой поверхностью металла.

При цветном методе индикаторный след имеет ярко красный цвет, хорошо видимый на белом фоне.

Капиллярные методы контроля в специализированных цехах по ремонту дизелей используют для обнаружения трещин в блоках цилиндров, фундаментных рамах, моноблоках, поршнях.

В специализированных цехах по изготовлению и ремонту вкладышей подшипников капиллярные методы должны применяться для определения отслоений

антифрикционного сплава от основы по кромкам подшипников и растрескивания заливки вследствие ее усадки.

С помощью капиллярных методов выявляют также дефекты после эксплуатации и ремонта на лопастях гребных винтов, изготовленных из цветных сплавов.

**Вихретоковый метод контроля** состоит в измерении взаимодействия переменного электромагнитного поля с металлом. Данный метод может применяться как для контроля немагнитных сталей и цветных сплавов, так и ферромагнитных материалов.

Воздействие электромагнитного поля на металл контролируемой детали осуществляют с помощью индуктивных датчиков (катушек), питаемых переменным током. При этом электромагнитная энергия, проникая на некоторую глубину в металл детали, частично поглощается в нем, затем частично отражается, воздействуя на катушку. Преобразование и отражение энергии зависит от свойств контролируемой детали. Отсюда следует, что ток, текущий в катушке, несет информацию о свойствах детали.

Характер отраженного поля определяется двумя явлениями, происходящими в контролируемой детали:

1. возбуждающее поле датчика индуктирует в металле вихревые токи;
2. возбуждающее поле изменяет магнитную доменную структуру металла.

В неферромагнитных металлах имеет место только первое явление, а в ферромагнитных преобладает обычно второе явление. Этим объясняется различие в принципе контроля деталей из ферромагнитных и неферромагнитных металлов.

Сопротивление движению вихревых токов зависит от атомной структуры немагнитного металла. Например, наличие в кристаллической решетке чужеродных атомов и дислокаций обычно изменяет электросопротивление материалов. Атомная структура связана с прочностью, твердостью, видом сплава, его химическим составом, ориентацией зерен, термической обработкой и т.д.

Этим объясняется тот факт, что изменение указанных свойств обычно сопровождается изменением электросопротивления. Таким образом, удельное сопротивление дает возможность обнаружить отклонение твердости, состава сплава и др. характеристик от заданных.

Другая группа параметров детали, которые обнаруживают при помощи вихревых токов, включает несплошности металла: трещины, раковины, включения и пористость. Наличие таких дефектов изменяет пути прохождения вихревых токов в металле, а, следовательно, увеличивает электросопротивление.

Еще одна группа параметров, которые могут быть определены с помощью вихревых токов - форма и размеры изделия, толщина металла.

С помощью вихревых токов можно измерить толщину слоя краски или гальванического покрытия, толщину одного из слоев биметалла, слоя оксидного покрытия. Эти измерения возможны, если слои имеют различное электросопротивление или различные магнитные свойства. Покрытие как бы изменяет расстояние от испытательной катушки до металла.

При контроле ферромагнитных материалов явления, связанные с изменением электросопротивления, также имеют место, следовательно, все изложенные выше принципы контроля могут применяться.

Однако в ферромагнитных материалах на результаты измерения большое влияние оказывает само намагничивание, при котором, во-первых, происходит рост доменов из-за перемещения границ, благоприятно ориентированных в отношении магнитного поля доменов за счет не столь выгодно ориентированных, а во-вторых - вращение вектора намагниченности доменов в направлении приложенного поля.

Второй процесс наблюдается в сильных полях, при которых происходит насыщение, и почти не обнаруживается в слабых полях. Каждый из этих процессов преобладает в различных частях петли гистерезиса, что вызывает ее нелинейную форму.

В слабых полях наиболее важным фактором является подвижность границ доменов.

Это определяется рядом таких физических параметров как температура, состав сплава, условия первичной обработки, нежелательные примеси, несовершенство пространственной решетки кристаллов и механические напряжения. Поскольку все это связано с прочностью и твердостью детали, вихретоковый метод может быть использован для получения данных об этих свойствах.

Например, с помощью вихретокового метода можно контролировать различие в структуре, термической обработке ферромагнитных сплавов, степени науглероживания, связанных с изменением магнитных свойств. Вся информация о контролируемой детали передается в датчик магнитным потоком.

Изменение магнитного потока со временем индуктирует в нем напряжение  $V$ , которое по закону Фарадея зависит от величины и скорости изменения потока, а также от числа витков в катушке датчика. В итоге при помощи аппаратуры для вихретокового контроля измеряют напряжение или какую-либо его производную. Фактически это единственный параметр, характеризующий контролируемую деталь.

В зависимости от цели контроля (определение химсостава, твердости, качества термической обработки, толщины гальванического покрытия, наличия трещин и т.д.) вихретоковым методом можно проверять детали различной сложности и конфигурации с помощью различных по форме, виду и величине датчиков.

Для контроля мелких деталей (размером в диаметре или по диагонали менее 100 мм) используют проходные датчики, для массивных деталей – накладные датчики.

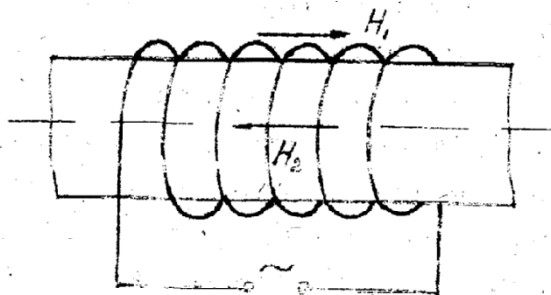


Рисунок 1.24 – Схема проходного датчика



При работе на приборах с проходными датчиками (рисунок 1.24) деталь 1 помещают внутрь катушки 2, по которой проходит переменный ток. Вектор напряженности  $H_1$  показывает направление первичного поля испытательной катушки, а  $H_2$  – переменного вторичного магнитного поля, появляющегося из-за возникновения вихревых токов в металле контролируемой детали. В результате взаимодействия магнитных полей изменяется магнитное поле вблизи катушки, а, следовательно, и ее сопротивление, что регистрируется специальными измерительными приборами.

При работе приборов с накладными датчиками их устанавливают на поверхность контролируемой детали 1. Возбуждаемые в поверхностном слое металла вихревые токи создают магнитное поле, вектор напряженности которого  $H_2$  направлен навстречу вектору первичного поля  $H_1$  (рисунок 1.25).

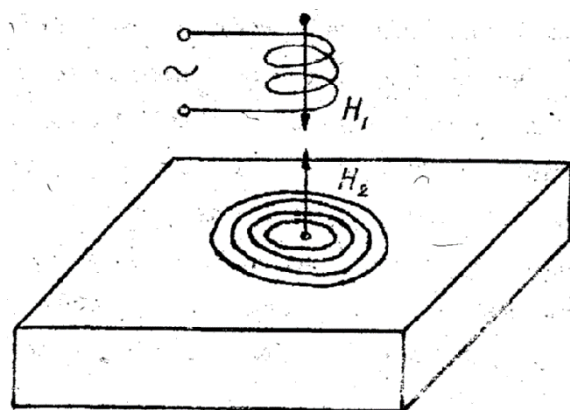


Рисунок 1.25 – Схема накладного датчика

***В современной технике контроля вихретоковым методом применяют различные способы определения контролируемой величины. Среди них наибольшее распространение получили следующие методы:***

1. непосредственное измерение при помощи стрелочных приборов;
2. способ линейной развертки, при котором используют электронно-лучевую трубку.

В зависимости от схемного решения приборов контроль вихретоковым методом можно проводить одним из двух способов:

1. используя относительные оценки магнитных и электрических свойств испытуемых объектов в сравнении с эталоном. Из числа контролируемых деталей подбирают эталон, свойства которого достаточно хорошо известны. Затем устанавливают полосу разброса кривых на экране электронно-лучевой трубки прибора, т.е. определяют границы контроля. Контроль всех остальных деталей производят относительно эталона, помещая контролируемые детали во вторую катушку и наблюдая на экране прибора полученные кривые.

2. непосредственным измерением абсолютных и относительных величин. В этом случае, как правило, к прибору придается эталон (с известной электропроводностью, с определенной трещиной), по которому ведется настройка прибора.

Далее контроль деталей можно осуществлять измерением абсолютных величин, например, электропроводимости или относительных (резкий бросок стрелки на какое-то число делений).

Контроль после настройки прибора сводится к установке датчика на проверяемую поверхность или в перемещении его по этой поверхности с определенной скоростью.

Одним из наиболее перспективных направлений использования вихретокового метода на предприятиях речного транспорта является обнаружение эксплуатационных дефектов типа трещин.

При встрече с препятствием, например, с трещиной, вихревые токи не могут пройти сквозь ее полость, и обходя ее повышают плотность тока в окружающем эти полости металле (рисунок 1.26).

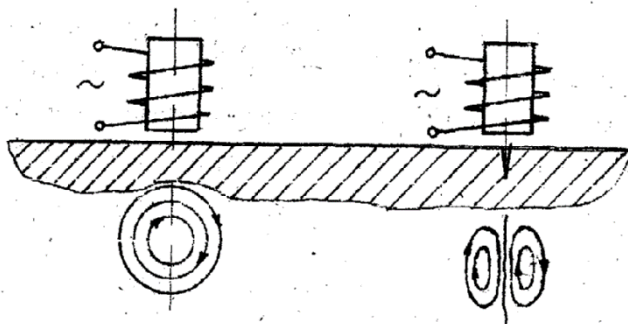


Рисунок 1.26 – Распределение вихревых токов в металле

Соответственно изменяется собственное магнитное поле вихревых токов, возникающее в пространстве, вокруг дефектов, что и влияет на изменение параметров датчика.

С помощью дефектоскопов с накладными датчиками выявляются трещины, включения, несплошности, выходящие на поверхность и перпендикулярные к ней. Протяженность выявляемых дефектов приблизительно равна половине диаметра испытательных катушек. Минимальная протяженность обнаруживаемых дефектов составляет 0,8 – 1,0 мм. Глубина выявляемых дефектов для лучших конструкций дефектоскопов равна 0,1 мм. Показания приборов зависят от глубины трещин. Большим преимуществом вихретокового метода является возможность обнаружения трещин под слоем лаков, красок и даже коррозии.

При ремонте дизелей в специализированных цехах вихретоковый метод может быть использован для обнаружения эксплуатационных дефектов в полуавтоматическом режиме на деталях несложной геометрической формы (поршневые пальцы, клапаны, рессоры), для оперативного контроля крупногабаритных деталей из ферромагнитных и немагнитных материалов с целью подтверждения наличия несплошностей (блоки цилиндров и фундаментные рамы из чугуна, моноблоки и верхние картеры из алюминиевых сплавов), а также для контроля деталей винто-рулевого комплекса на стапеле.

**Рентгено-и гаммаграфирование** относится к **радиографическим методам**. Радиографические методы предназначены для выявления внутренних дефектов в заготовках (литье, поковки), готовых изделиях и сварных швах.

Наилучшим образом выявляются внутренние, объемные дефекты, имеющие достаточно большой размер в направлении просвечивания.

К таким дефектам относятся поры, раковины, шлаковые включения и т.п. Тонкие трещины, расположенные в плоскости, составляющей с направлением проходящих лучей угол более  $15^\circ$ , а также другие дефекты типа несплавления без газовой или шлаковой прослойки, радиографическими методами не выявляются.

**Гаммаграфирование**, применяют при контроле качества сварных соединений, расположенных в труднодоступных местах, в полевых и монтажных условиях, а также в том случае, когда мощность рентгеновских аппаратов не достаточна для просвечивания изделия из-за его большой толщины.

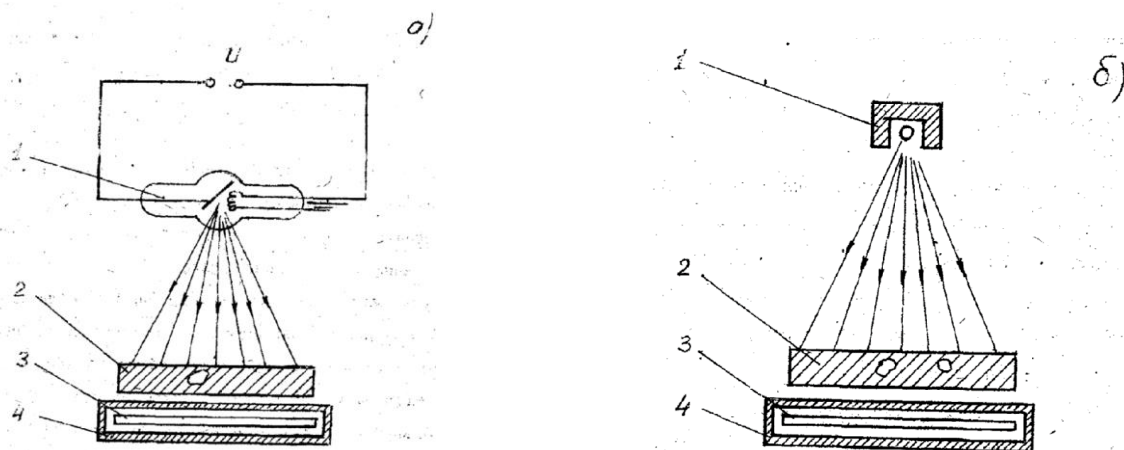
Возможность выявления дефектов рентгено-и гаммаграфированием основана на законах ослабления энергии радиационного излучения (рентгеновских или гамма-лучей).

Радиационное излучение ослабляется в различной степени при прохождении сквозь участки изделия различной плотности и протяженности в направлении просвечивания.

Действие радиационных лучей на фотоэмульсию позволяет регистрировать результаты просвечивания.

На рисунке 1.27 представлены принципиальные схемы рентгено-и гаммаграфирования. Как видно, из рисунка, методы отличаются между собой источниками излучения. При рентгенографировании им является рентгеновская трубка, а при гаммаграфировании - радиоактивный элемент.

Источник радиационного излучения 1 (рисунок 1.27) устанавливают на определенном расстоянии от контролируемого изделия 2, с другой стороны которого располагают рентгеновскую пленку 3, помещенную в кассету 4. Рентгеновская пленка является регистратором интенсивности прошедшего через различные участки просвечиваемого изделия излучения.



а – рентгенографирование; б – гаммаграфирование

1 – источник излучения; 2 – контролируемое изделие; 3 – рентгеновская пленка;  
4 – кассета

**Рисунок 1.27 – Схема радиационного контроля**

После проявления пленки, на ней, в районе расположения дефектов в изделии, появляются темные места, так как энергия излучения при прохождении через дефекты ослабляется в меньшей степени.

Рентгеновские и гамма-лучи представляют собой электромагнитные колебания с очень маленькой длиной волны  $\lambda = 10^{-15} \div 10^{-9}$  м.

Источником рентгеновских лучей является рентгеновская трубка. Основные элементы трубки: стеклянный баллон, где создан высокий вакуум, металлические электроды, один из которых – анод – изготовлен из вольфрама, а другой – катод, представляющий собой спираль из тонкой вольфрамовой проволоки. Между катодом и анодом подают высокое напряжение, а катод разогревают от источника с напряжением 8–12 В. При накаливании катода он испускает электроны (термоэлектронный эффект), которые под действием сильного электрического поля между электродами получают ускорение к положительно заряженному аноду. При попадании ускоренных электронов на анод их кинетическая энергия частично переходит в теплоту, частично в лучистую энергию рентгеновских лучей.

Количество электронов, испускаемое катодом при нагреве зависит от температуры. Чем сильнее накал, тем количество электронов больше, тем сильнее анодный ток и тем интенсивнее рентгеновское излучение.

Скорость электронов зависит от приложенного к полюсам трубки напряжения. Чем оно выше, тем скорость электронов и их энергия больше, а значит тем больше жесткость излучения, измеряемая, длиной волны рентгеновских лучей.

С увеличением жесткости излучения повышается проникающая способность рентгеновских лучей.

Таким образом, имеется возможность регулировать параметры излучения изменением силы тока и напряжения.

Источником излучения при гаммаграфировании является, как правило, искусственный радиоактивный изотоп. В отличие от рентгеновского излучения, радиоактивное излучение обуславливается только внутриядерными процессами. При распаде радиоактивных элементов испускаются, в том числе, и гамма-частицы, используемые для просвечивания изделий.

С точки зрения гаммаграфирования радиоактивные вещества характеризуются тремя основными свойствами:

1. активностью излучения;
2. жесткостью излучения;
3. периодом полураспада.

От активности излучения зависит производительность контроля, т.е. время просвечивания. С течением времени активность радиоактивных веществ в результате распада понижается.

Проникающая способность гамма-лучей зависит от жесткости излучения. Жесткость излучения определяется радиоактивным элементом и является для него величиной постоянной.

Для просвечивания деталей различной толщины используют радиоактивные вещества с жестким излучением, излучением средней жесткости и мягким.

Чтобы предотвратить облучение обслуживающего персонала при работе с радиоактивными источниками, их помещают в контейнеры. Контейнеры представляют собой металлические сосуды, залитые свинцом, толщину которых рассчитывают в зависимости от жесткости излучения источника. На объекте просвечивания контейнеры устанавливают на штативах с целью регулировать фокусное расстояние и осуществлять дистанционное управление по открытию затвора отверстия в контейнере.

Проведение радиационного контроля предусматривает выбор следующих параметров:

1. жесткости излучения;
2. фокусного расстояния;
3. схемы зарядки кассет;
4. экспозиции (времени просвечивания).

Жесткость радиационного излучения является основным параметром радиографического метода. Выбор жесткости излучения определяется толщиной контролируемого металла. Чем толще металл, тем жестче требуется излучение. Вместе с тем при «мягком» излучении поглощение энергии на единице толщины контролируемой детали больше, а, следовательно, и чувствительность контроля будет выше.

Фокусное расстояние, т.е. расстояние от рентгеновской пленки до источника излучения сказывается на четкости изображения. Чем больше фокусное расстояние, тем более четкий снимок можно получать. Однако увеличение фокусного расстояния влечет за собой увеличение продолжительности просвечивания. Практически, фокусное расстояние не должно быть меньше  $1,35l$ , где  $l$  – длина пленки.

Выбор длительности просвечивания (экспозиции) определяется экономическими соображениями и, кроме того, увеличение длительности просвечивания вызывает ухудшение качества снимка из-за вуалирования его рассеянным излучением. Для сокращения экспозиции применяют так называемые усиливающие экраны – флуоресцирующие и металлические, которые укладывают в кассету с обеих сторон пленки.

Флуоресцирующей экран представляет собой картон с нанесенным на него активным слоем кристаллического люминофора. Усиливающее действие основано на свечении люминесцирующего слоя под действием радиационных лучей. Воздействие на пленку дополнительного света экрана уменьшает экспозицию в 8–9 раз. Однако при этом уменьшаются четкость изображения вследствие рассеянного света флуоресценции и чувствительность к мелким дефектам.

Усиливающие металлические экраны изготавливают из свинцовой или оловянной фольги толщиной 0,1–0,3 мм.

Их действие вызывается выбрасыванием из них фотоэлектронов под влиянием проникающего излучения.

Свинцовая фольга вызывает сокращение экспозиции в 2–3 раза без существенного снижения четкости изображения.

Очевидно, что в каждом конкретном случае надо так выбирать режимы просвечивания, чтобы получить оптимальное качество снимка при меньшей экспозиции.

Результатом рентгено - или гаммаграфирования является получение снимка с изображением участка контролируемой детали.

По полученному снимку делают сначала заключение об его качестве, затем уже о качестве участка детали, изображенной на пленке.

О снимке судят по видимости изображения на нем маркировочных знаков, эталонов чувствительности, оптической плотности, а также достигнутой чувствительности.

Количественную оценку чувствительности производят по величине наименьшего дефекта, который может быть выявлен по снимку. При этом под величиной дефекта понимается его размер в направлении, просвечивания. Его определяют в процентах к общей толщине просвечиваемого металла.

Последовательность операций при рентгено- и гаммаграфировании следующая:

1. установить контролируемый объект;
2. уложить под объект кассету с пленкой;
3. уложить клеймитель с маркировкой;
4. уложить дефектомер;
5. произвести наводку в соответствии с фокусным расстоянием;
6. включить установку и произвести просвечивание.

На предприятиях речного транспорта радиационные методы используются в основном для контроля качества сварных швов при постройке и ремонте корпусов судов, а также контроля качества заготовок (отливок и поковок) ответственных деталей.

## **1.4 Судоремонтные предприятия**

*Судоремонтные предприятия подразделяются на три типа:*

1. плавучие ремонтные мастерские;
2. судоремонтные мастерские;
3. судоремонтные заводы.

*Плавучие ремонтные мастерские* оборудованы автономным дизель-генератором, сварочным агрегатом, компрессором, несколькими металлообрабатывающими станками и предназначены для ремонта судов, находящихся на причалах или на рейдах порта под грузовыми операциями.

*Судоремонтные мастерские* выполняют профилактические ремонты; в настоящее время они переданы судоремонтным заводам или базам (объединениям) флота рыбной промышленности.

*Судоремонтные заводы (СРЗ)* – предприятия единичного типа производства с выпуском особо сложной продукции. СРЗ в зависимости от численности рабочих и технической оснащенности могут производить большие ремонты судов водоизмещением 1–25 тыс. т. Некоторые СРЗ объединены в производственные судоремонтные объединения. Благодаря этому достигается специализация производства, концентрация основного и вспомогательного производства и централизация служб управления.

### **1.4.1 Структура и организация судоремонтного завода**

Судоремонтный завод, как и любой завод машиностроительного профиля, имеет в своем составе основные, заготовительные и вспомогательные цехи.

**Основные цехи:** корпусосварочный, дизельный, трубопроводный, механомонтажный, электромонтажный, деревообрабатывающий, котельный, такелажный, доковый.

**Корпусосварочный цех** производит обработку листовой стали, изготавливает секции корпуса, выполняет все виды сварочных и ремонтных работ по корпусу судна. Цех оборудован механическими ножницами, прессами, гибочными вальцами, аппаратами для автоматической и полуавтоматической сварки, копировальными шаблонами для резки металла, разнообразными подъемно-транспортными средствами. При цехе имеется плаз, где в натуральную величину размечают элементы корпуса и изготавливают деревянные шаблоны.

**Дизельный цех**, предназначенный для ремонта главных и вспомогательных двигателей внутреннего сгорания, имеет парк металлорежущих и специализированных станков, стенды для испытания узлов и деталей двигателей.

**В трубопроводном цехе** ремонтируют и испытывают трубы для всех судовых систем, делают сосуды и трубопроводы из цветных металлов, ремонтируют теплообменные аппараты. В цехе установлены мойки, станки для резки, холодной и горячей гибки труб, стенды для гидравлического испытания трубопроводов и арматуры; имеются участки по защите труб от коррозии (горячего цинкования, нанесения защитных покрытий и др.).

**Механомонтажный цех** объединяет станочные и слесарно-монтажные участки; на крупных заводах они размещены отдельно. Станочное отделение составляют токарно-винторезные, расточные, карусельные, строгальные, фрезерные, зуборезные, долбежные, шлифовальные и сверлильные станки. Станочный парк универсален, так как при судоремонте приходится выполнять разнообразные работы по механической обработке деталей.

Оборудование слесарно-монтажного отделения размещено по принципу специализация: участки по ремонту палубных механизмов, насосов, рыбопромысловых механизмов и т.д. В отделении имеются слесарные верстаки, специальное оборудование: моечные машины, прессы, стенды для испытаний механизмов и т.д. Механомонтажному цеху часто придаются специализированные участки: гальванический, литья из капрона, покрытия эпоксидными составами и т.д.

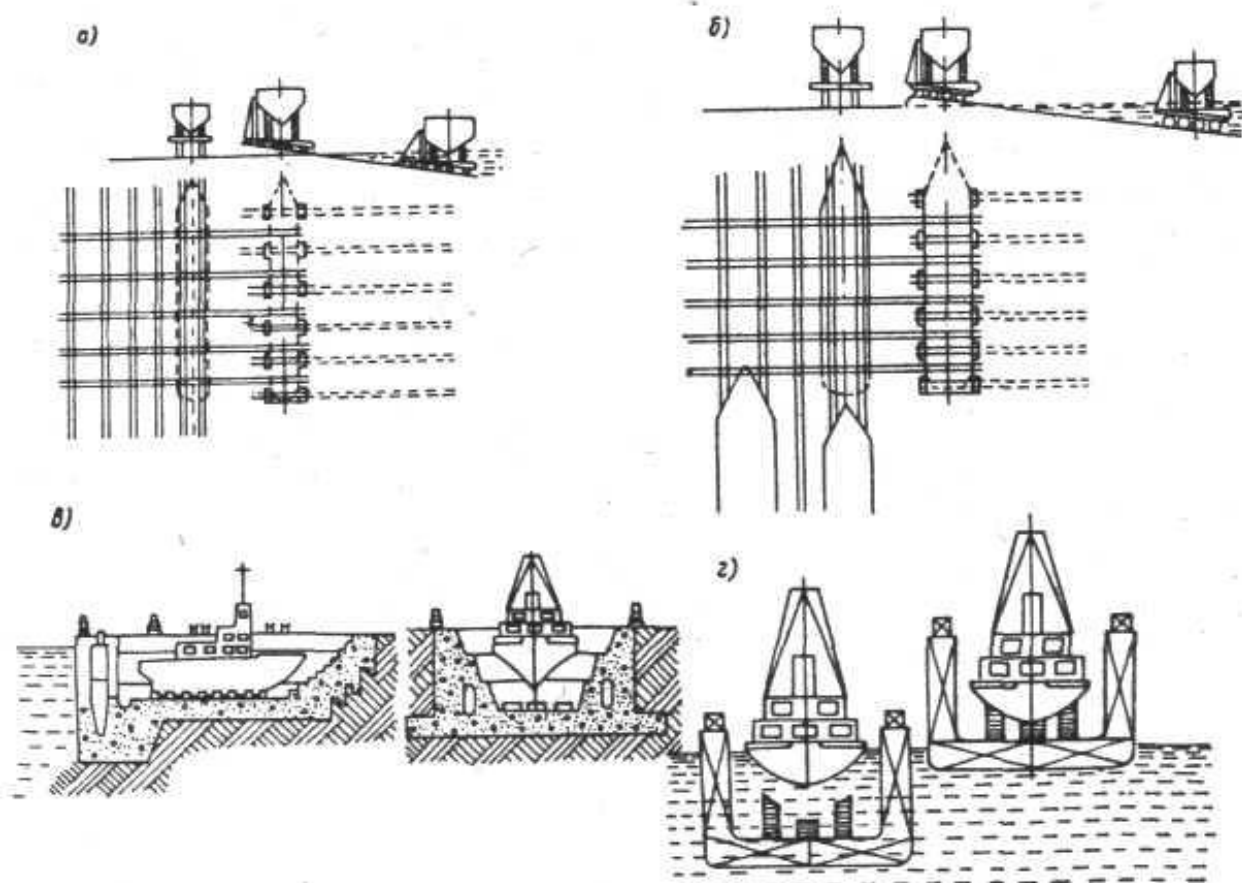
**В электромонтажном цехе** производится ремонт электрических машин, аппаратов и приборов с помощью специального оборудования (перемоточные станки, сушильные печи, стенды для испытания электрических машин и т.д.). Цех имеет специализированный участок для ремонта электрорадионавигационных приборов.

**В деревообрабатывающем цехе** выполняют все виды плотницких и столярных работ. Цех – оборудован различными станками для распиловки и обработки древесины. В настоящее время для ремонта и изготовления мебели, отделки судовых помещений широко применяют древесные пластики и синтетические материалы.

**Котельный цех** (участок) производит работы по ремонту судовых паровых котлов и котельной автоматики, имеет небольшой парк станочного оборудования, стенды и приспособления.

**Такелажный цех** (участок) изготавливает детали такелажа и обслуживает доковый цех (установка лесов, очистка и окраска корпуса и т.д.).

**Доковый цех** завода имеет специфическое оборудование, которое рассматривается ниже (рисунок 1.28).



*а – эллинг; б – поперечный слип; в – сухой док; з – плавающий док*

**Рисунок 1.28 – Судоподъемные сооружения**

**Слип** – береговое сооружение для подъема судов, осуществляемого с помощью комплекта тележек, перемещающихся по наклонным рельсовым путям (угол наклона 8–12°). Слипы бывают продольными и поперечными. После подъема судно на тележках передвигают на стапель для ремонта. Наибольшее распространение получили поперечные слипы.

**Сухой док** представляет собой котлован, отделенный от акватории затвором (батопорт, створчатые ворота). Док заполняют водой, затвор открывают и вводят судно, затем затвор закрывают, производят осушение и приступают к ремонту судна. При выводе судна док постепенно заполняют водой, судно всплывает и его выводят из дока.

**Плавающий док** – сооружение коробчатого типа, служащее для вертикального подъема и спуска судна. При затоплении отсеков док погружается в воду, введенное в него судно устанавливается на подкильные дорожки или лекальные клетки, затем из



отсеков дока откачивают воду, и он вместе с судном всплывает. Плавающие доки строят из стали, железобетона или выполняют их комбинированными (понтон – железобетонный, башни – стальные).

**Док-матка** состоит из подъемного сооружения и установленных в нем док-понтонов. Док-матка может поднять одновременно док-понтон с судном и оставить их на плаву. Обслуживая поочередно док-понтон и принимая судно на себя, док-матка обеспечивает одновременно докование нескольких судов.

В настоящее время начинают применять вертикальные судоподъемники с гидроприводом. На платформы, находящиеся в верхнем положении, устанавливаются балки с кильблоками, которые выверяют и центруют. Платформы опускаются в нижнее положение, судно заводят на них, центруют, поднимают в верхнее положение и фиксируют, после чего его можно переместить в продольном или поперечном направлениях на стапельное место. Спуск судна производится в обратном порядке.

Грузоподъемность слипов достигает 2–3 тыс. т, сухих доков – 300–400 тыс. т, плавучих доков – 20–30 тыс. т, док-матки – до 90 тыс. т, вертикальных судоподъемников – 6 тыс. т.

К **заготовительным цехам** относятся литейный и кузнечный цехи.

В **литейном цехе** производят отливку деталей из чугуна, цветных металлов и сплавов; изготавливают и хранят модели. На некоторых крупных заводах освоено стальное литье. Основные трудоемкие процессы – подготовка шихты, загрузка, формовка, обрубка – механизированы. **Кузнечный цех** оборудован молотами массой 0,5–2 т, прессами для штамповки, нагревательными печами. В этом цехе производят все необходимые поковки для ремонта.

**Вспомогательные цехи:** ремонтный, инструментальный, транспортный, энергетическое и складское хозяйство завода. В **ремонтном цехе** имеется станочное и слесарное отделения, где осуществляется ремонт всего заводского оборудования. В **инструментальном цехе** делают специальные инструменты и оснастку. В цехе есть термическое отделение. **Транспортный цех** выполняет все виды транспортных работ; оснащен автотранспортом, плавсредствами и специальными транспортными средствами (автокраны, автопогрузчики и т.д.). **Энергетическое хозяйство** состоит из электроподстанции, котельной, аварийной электростанции, компрессорной, кислородной станции.

**Складское хозяйство** предназначено для приема, хранения и выдачи необходимых для ремонта материалов, полуфабрикатов и готовых изделий.

**Управление судоремонтным заводом** осуществляется на принципах единоначалия директором, ответственным за выполнение производственного плана и качество продукции. Директору, как правило, подчиняются следующие отделы заводоуправления: планово-экономический, материально-технического снабжения, кадров, труда и заработной платы, капитального строительства, технического контроля, юридический, научной организации труда, финансовый и бухгалтерия. Первым заместителем директора является главный инженер, которому подчинены отделы:

- планово-производственный;
- технический;
- главного механика и главного энергетика;

- техники безопасности;
- центральная лаборатория.

*Планово-экономический отдел* составляет производственные планы и контролирует их выполнение, следит за равномерной загрузкой завода и цехов, проверяет себестоимость продукции, ведет учет выпускаемой продукции. *Отдел материально-технического снабжения* оформляет заявки на необходимые материалы и запчасти, несет ответственность за приобретение и снабжение завода материалами, полуфабрикатами, оборудованием, топливом, организует работу складского хозяйства.

*Отдел кадров* ведет работу по обеспечению завода квалифицированными кадрами, организует подготовку рабочих массовых профессий. *Отдел труда и заработной платы* осуществляет регулирование заработной платы, техническое нормирование, тарификацию, составляет штатное расписание. *Отдел капитального строительства* занимается вопросами ремонта и поддержания в исправном техническом состоянии зданий и сооружений завода.

*Отдел технического контроля* проверяет качество и соответствие готовой продукции чертежам и техническим условиям. *Юридический отдел* (юрист-консультант) следит за оформлением коммерческих договоров, ведет от имени завода конфликтные дела и консультирует работников завода, по юридическим вопросам. *Отдел научной организации труда* определяет уровень достигнутой производительности, разрабатывает и внедряет мероприятия, направленные на улучшение организации производства и повышение производительности труда. *Бухгалтерия и финансовый отдел* обеспечивают финансовую дисциплину предприятия, расчеты с поставщиками и заказчиками, контроль выполнения финансового плана, учет движения материальных ценностей, начисление заработной платы.

*Планово-производственный отдел* обеспечивает оперативное руководство процессом производства, координирует деятельность всех его звеньев для обязательного выполнения сроков окончания работ на объектах согласно графикам. Эту работу выполняют ведущие инженеры (прорабы). *Технический отдел*, состоящий из бюро: технологического, конструкторского, стандартизации, инструментального хозяйства, рационализации и изобретательства, а также сметно-калькуляционной группы, разрабатывает технологию и выпускает чертежи на ремонтные работы, принимает участие в дефектации механизмов и узлов судна, калькулирует ремонтные ведомости, подготавливает техническую документацию для изготовления инструментов и приспособлений, рассматривает и внедряет в производство изобретения и рационализаторские предложения.

*Отделы главного механика и энергетика* обеспечивают нормальную работу технологического оборудования завода и вспомогательных цехов. *Отдел техники безопасности* ведет надзор за соблюдением правил техники безопасности на заводе, проводит инструктажи производственного персонала, рассматривает случаи производственного травматизма, создает и реализует планы, улучшающие условия работы, санитарное состояние рабочих мест и т.д.

*Центральная лаборатория* осуществляет механические и химические испытания материалов, дефектоскопию, спектральный контроль и контроль за мерительным инструментом.

### ***1.4.2 Организация ремонта судна на судоремонтном заводе. Обслуживание судов в период ремонта***

Чтобы уменьшить ремонтный период, на СРЗ широко применяют нулевой этап, т. е. изготовление деталей для ремонта судна еще до того, как оно будет принято в ремонт. Эти работы проводятся согласно ремонтной ведомости, поступившей от судовладельца. Ведущий инженер (прораб) размещает заказы на изготовление необходимых деталей, поковок и отливок в цехах судоремонтного завода, проверяет возможность выполнения всех работ на заводском оборудовании, дает заказы отделу материально-технического снабжения на материалы. Одновременно технический отдел готовит документацию (чертежи, технологию).

Судно, пришедшее на завод для ремонта, по согласованию сторон выходит в плавание море для проверки в действии отдельных механизмов, систем, устройств и т.д. Затем экипаж готовит к ремонту все помещения, оборудование, механизмы, системы и трубопроводы, очищая их от остатков груза, топлива, мусора и грязи, освобождая от жидких и газообразных сред, удаляя снаряжение и инвентарь.

По окончании этих работ представитель завода осматривает и принимает судно, составляя акт приемки, день подписания которого считается началом ремонтных работ. Далее производится разборка и дефектация узлов и механизмов судна. Прораб составляет графики выполнения работ, направляемые в цехи завода. Наблюдение за ремонтом выполняет администрация судна или специальная группа, контролирующая поставку механизмов и запчастей, качество ремонта, установленные сроки, определяющая процент выполненных работ и т.д. Приемка судна производится по программе, согласованной с Регистром и судовладельцем. По окончании испытаний составляется двусторонний акт, где излагаются результаты испытаний и перечень обнаруженных дефектов. После устранения неисправностей в механизмах их подвергают повторной проверке и испытанию. Составляется приемо-сдаточный акт и судно считается введенным в эксплуатацию.

Ответственность за сохранность судна в ремонте возлагается на судовладельца при нахождении судна на плаву и на судоремонтное предприятие, если судно находится в доке. При всех видах ремонта капитан несет ответственность за противопожарное состояние судна, его постановку, швартовку и подготовку к зимней стоянке, за общее состояние трапов, ограждений, освещений судовых проходов и помещений.

СРЗ обеспечивает необходимое освещение и ограждение мест проведения ремонта, а также отвечает за их противопожарное состояние и безопасность. При демонтаже якорных и швартовых устройств завод принимает временные меры, гарантирующие безопасность стоянки судна. Выполнение работ с применением открытого огня в каждом случае согласовывается с капитаном и пожарной охраной. Во время проведения ремонта команда судна подчиняется внутреннему распорядку завода и должна выполнять все требования по технике безопасности, контроль за соблюдением которых осуществляется заводом.

### ***1.4.3 Маршрутная технология ремонта судна***

Маршрутную технологию ремонта судна важно усвоить для общего понимания производственного процесса судоремонтного предприятия. Рассмотрим ***маршрутную технологию ремонта применительно к механизмам судна.***

После постановки судна на СРЗ начинают демонтажные работы. Все узлы, не пригодные для ремонта, сразу же отправляют на склад отходов. Демонтированные механизмы поступают на склад, где их разбирают и дефектуют. Склад демонтированных механизмов может быть общезаводским, но чаще каждый цех имеет свои склады демонтированных механизмов и распределительно-комплекточный.

Со склада демонтированных механизмов детали, не пригодные для ремонта, отправляют на склад отходов, остальные – в распределительно-комплекточный склад или (крупные детали, например, коленчатые валы, станины, блоки цилиндров главных двигателей и др.) непосредственно в производственные цехи. Некоторые механизмы могут быть отправлены на специализированные предприятия для ремонта по кооперации.

В распределительно-комплекточном складе детали комплектуют в узлы и комплекты. На недостающие детали подбирают заготовки. После этого узлы и комплекты деталей подают на соответствующие участки производственных цехов для обработки и ремонта. Изготовленные и отремонтированные детали и узлы вновь поступают на склад комплектации, откуда, после соответствующего накопления, в комплектах и узлах – на сборочные участки производственных цехов для сборки.

Отремонтированные механизмы отправляют на склад либо готовой продукции, либо обменного фонда, либо нулевого этапа.

В соответствии с технологическим графиком ремонта судна, используя склады готовой продукции, обменного фонда и нулевого этапа, на распределительно-комплекточном складе комплектуют и подают в нужное время на судно для монтажа механизмы, устройства и судовое оборудование.

Крупногабаритные механизмы могут подаваться для монтажа непосредственно на судно, минуя распределительно-комплекточный склад.

Склад обменного фонда может пополняться за счет кооперированных поставок механизмов и сменно-запасных частей.

Материалы, заготовки и сменно-запасные части на распределительно-комплекточный склад поступают из главного магазина, склада стали, заготовительных цехов, кооперации. Заготовки из заготовительных цехов могут поступать и на склад нулевого этапа.

### ***1.4.4 Методы ремонта***

На заводах применяют индивидуально-осмотровой, агрегатный, комплектно-узловой, стандартный и секционно-блочный методы, на СРЗ – также позиционный метод ремонта судов. Ведутся проработки по внедрению на СРЗ ММФ комплексно-этапного метода ремонта. Все методы, кроме индивидуально-осмотрового, называют индустриальными.

При индивидуально-осмотровом методе дефектацию и ремонт механизмов, устройств, систем и элементов корпуса судна производят индивидуально. Ремонтная бригада под руководством мастера и технолога, разбирая в определенной последовательности механизм, осматривает, измеряет детали и определяет дефекты. Затем детали механизма ремонтируют или заменяют и отправляют на сборку.

Такой ремонт целесообразно применять при текущем ремонте, когда объем ремонтных работ небольшой. При капитальном ремонте в данном случае затрачивается много времени, так как механизмы (равно, как и устройства и системы) находятся в ремонте до тех пор, пока снятые с них узлы и детали не будут отремонтированы и установлены на место.

Судно при этом простаивает в ремонте до тех пор, пока все механизмы, устройства и системы не будут смонтированы, отлажены и сданы на швартовых и ходовых испытаниях.

Таким образом, основным недостатком индивидуально-осмотрового метода ремонта является его длительность. Кроме того, поскольку работы не узко специализированы, для их исполнения требуются рабочие высокой квалификации. Несмотря на недостатки, этот метод применяют достаточно широко на СРЗ в силу специфики судоремонтных работ. Однако постепенно его заменяют индустриальным методом ремонта.

**При агрегатном методе** изношенные механизмы и устройства заменяют на новые или отремонтированные из обменного фонда. Снятые механизмы обезличивают и отправляют для ремонта стандартным методом на специализированные участки или в цехи предприятия по ремонту обменного фонда. Агрегатный ремонт возможен на серийных судах с унифицированными механизмами и устройствами.

**При комплектно-узловом методе ремонта** заменяют отдельные изношенные комплекты или узлы на другие из обменного фонда, например, крышку цилиндра у двигателя внутреннего сгорания в комплекте с клапанами, участками трубопроводов и другими деталями, дейдвудную втулку с набором планок антифрикционного материала и т.д.

Снятые комплекты и узлы обезличивают и отправляют для ремонта преимущественно стандартным методом на специализированные участки для пополнения обменного фонда.

Таким методом ремонтируют крупные однотипные механизмы (например, главные двигатели) и устройства или применяют его к тем механизмам и устройствам, демонтаж которых нецелесообразен из-за больших и сложных сопутствующих работ (снос надстроек, вырезка больших участков палуб, демонтаж судовых систем и т.д.).

**Стандартный метод** используют при ремонте обменного фонда или индивидуально-осмотровом. Суть метода заключается в том, что основные изнашивающиеся детали при каждом ремонте обрабатывают на установленные заранее следующие ремонтные размеры или восстанавливают до первоначальных размеров.

Стандартный ремонт обменного фонда, например, двигателей внутреннего сгорания, производят в следующем порядке. На дефектовочном участке двигатели комплектуют по маркам, разбирают и дефектуют. Часть деталей отбраковывают. Детали (коленчатые валы, втулки цилиндров, поршни, шатуны и т.д.), подлежащие ремонту,

обезличивают, комплектуют и направляют на специализированные участки для ремонта по установленным стандартным размерам. Картер и блок цилиндров обычно не разуконплектовывают. После ремонта детали комплектуют по ремонтным размерам и подают на сборку. Таким образом, двигатель может быть отремонтирован по каждому ремонтному размеру.

При таком методе технология ремонта судовых механизмов приближается к технологии машиностроительного производства. Это позволяет узко специализировать отдельные работы, широко применять средства механизации, групповой метод обработки деталей, принципы селективной сборки. Перечисленные мероприятия значительно снижают трудоемкость и стоимость ремонтных работ, позволяют использовать рабочую силу более низкой квалификации.

**Секционно-блочный метод** применяют при ремонте корпуса судна и его надстроек. Суть метода – дефектный участок наружной обшивки корпуса судна с прилегающим к нему набором удаляют с помощью газорезки, а на его место устанавливают заранее изготовленную по чертежам секцию.

Таким же методом можно заменять надстройки судна и насыщенные оборудованием блоки. Например, в практике судоремонта известны случаи изготовления и замены днищевых секций судна в районе машинного отделения с их оборудованием. Размеры секций и блоков обуславливаются грузоподъемностью подъемно-транспортных средств СРЗ.

**Позиционный метод** ремонта можно осуществлять при наличии определенного количества однотипных судов в ремонте и последующей их ритмичной постановки. Различают поточно-позиционный (конвейерный), бригадно-позиционный и комбинированный методы.

При **поточно-позиционном методе** судно перемещают по позициям вдоль причала. На каждой позиции выполняют определенные работы. Пример позиций для судна: демонтаж, первое докование, ремонт, второе докование, монтаж, сдача.

При **бригадно-позиционном методе** суда стоят у причала в определенной последовательности, а специализированные ремонтные бригады перемещаются по судам, выполняя на каждом определенные работы.

**Комбинированный метод** является сочетанием первых двух. В этом случае имеется ограниченное количество позиций (например, демонтажно-ремонтная, доковая и монтажно-сдаточная) и переходящие ремонтные бригады.

**Комплексно-этапный метод** является модификацией комбинированного при ограниченном количестве ремонтируемых однотипных судов (два-три).

**Индустриальные методы** судоремонта позволяют значительно сократить продолжительность заводского ремонта судов и повысить эффективность эксплуатации флота.

#### ***1.4.5 Единая система технологической подготовки производства***

Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП) представляет собой совокупность государственных стандартов, регламентирующих применение прогрессивных типовых, стандартных и групповых технологических

процессов, нормализованного оборудования и оснастки, средств механизации и автоматизации производственных процессов, а также инженерно-технических работ.

Эта система предопределяет единый для предприятий всех отраслей системный подход к выбору и реализации методов и средств технологической подготовки производства на базе современных достижений науки и техники, обеспечивающий решение основной задачи материального воспроизводства по выпуску изделий заданного качества при наилучшей эффективности производственных процессов.

ЕСТПП отличается большой динамичностью и благодаря этому позволяет отражать специфические особенности того или иного технологического процесса в конкретных условиях за счет применения отраслевых стандартов и стандартов предприятий.

Технологическая подготовка машиноремонтного производства всегда начинается с получения исходных данных на ремонтируемые изделия и предусматривает проектирование нового или совершенствование и модернизацию действующего производственного процесса на основе применения современных принципов технологии, организации и управления.

Организация и управление технологической подготовкой производства основывается на использовании ее типовой информационной модели, структурной схемы и организационных положений, регламентируемых отраслевыми стандартами.

ЕСТПП установлены **три стадии разработки технологической документации** по организации как машиностроительного, так и машиноремонтного производства на вновь создаваемых и действующих предприятиях: *техническое задание, технический и рабочий проекты*. **Техническое задание** является основанием для разработки технического проекта, который содержит основные принципиальные технические и организационные решения по технологической подготовке производства. На стадии рабочего проектирования, руководствуясь **положениями технического проекта**, разрабатывается рабочая документация, например, рабочие технологические процессы ремонта отдельных деталей или узлов и механизмов.

ЕСТПП включает в себя девять подсистем, среди которых наиболее крупными и важными являются тесным образом взаимосвязанные ЕСКД и Единая система технологической документации (ЕСТД). При этом под конструкторской и технологической документацией вообще понимают комплекс текстовых и графических документов, определяющих в отдельности или в совокупности конструкцию и технологический процесс изготовления или ремонта изделия, а также содержащих необходимые данные для организации производства.

ЕСТД – общегосударственная система технологической документации, устанавливающая правила ведения технологических процессов, выполнения и обращения карт, инструкций и другой технологической документации, используемой при изготовлении промышленной продукции.

ЕСТД устанавливает единые правила комплексного технологического проектирования, способствующие стандартизации обозначений, взаимообмену документацией между различными предприятиями без ее переоформления, внедрению вычислительной техники в инженерные технологические расчеты и т. д.

В соответствии с ЕСТД вся технологическая документация по назначению разделяется на общую и специальную. К документации общего назначения относятся маршрутные и комплектовочные карты, карты эскизов, технологические инструкции, ведомости (расцеховки, оснастки и материалов).

**Маршрутная карта** технологического процесса изготовления или ремонта изделия предназначена для описания последовательности выполнения работ по всем операциям с включением в себя сведений о применяемом оборудовании, оснастке, нормативных технических и экономических данных.

Маршрутная карта имеет четыре разновидности, первые три из которых применяют для оформления индивидуальных маршрутных и операционных процессов, а четвертую форму используют при проектировании типовой технологии.

**Комплектовочная карта** служит для описания данных о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия.

**Карта эскизов** – это графическая иллюстрация выполняемых в технологическом процессе установок и переходов с указанием всех сведений по точности размеров, шероховатости обрабатываемых поверхностей и техническим требованиям, предъявляемым к форме и взаимному расположению основных и базовых поверхностей.

**Технологическая инструкция** предназначена для описания специфических процессов работы и контроля, правил использования оборудования и других производственных этапов, требующих дополнительных разъяснений (например, технологическая инструкция по устранению трещин сваркой в моноблоках высокооборотных дизелей типа М400 и т.д.).

**Ведомости** (расцеховки, оснастки и материалов) содержат соответственно сведения о маршруте прохождения ремонтируемого изделия по цехам и отделам предприятия, специальной и стандартной технологической оснастке, а также нормах расхода материалов.

К технологической документации специального назначения относятся операционные карты и карты технологических процессов определенных видов работ.

**Операционная карта** служит для подробной записи операции с расчленением ее на все структурные составляющие (установы, позиции, переходы, проходы и т.д.) и с указанием режимов резания, оснастки, инструмента, нормы времени на выполнение операции и т.д. ЕСТД предусматривает восемь видов операционных технологических карт, которые предназначены для оформления операционных процессов механической обработки (единичного, бестекстового и типового), а также точения на одно- и многошпиндельных автоматах и полуавтоматах, в том числе и при групповой обработке на автоматах.

**Карта технологического процесса** предназначена для описания последовательности изготовления изделия по всем видам работ, выполняемым в одном цехе (ковка, штамповка и т. д.).

Комплектация технологической документации в соответствии с ЕСТД в конкретных производственных условиях определяется масштабами производства и методами изложения технологических процессов, характерными для этого производства.



ЕСТПП охватывает весь комплекс мероприятий по технологической подготовке производства, важнейшими этапами которого являются конструктивно-технологический анализ изделий, отработка их на технологичность, а также отладка технологических процессов и средств оснащения.

Технологичность конструкции понятие комплексное и характеризуется двумя группами показателей.

К первой группе относятся показатели эксплуатационных качеств машины (производительность, надежность, ремонтпригодность и т.д.), а ко второй – показатели экономичности производства изделия (металлоемкость, трудоемкость и общие затраты на его изготовление).

Наиболее существенным для машиноремонтных условий показателем технологичности является ремонтпригодность, которая может быть оценена:

1. конструктивной законченностью и достаточно легкой отделимостью деталей, узлов, механизмов, обеспечивающими возможность проведения агрегатно-узлового метода ремонта;
2. унификацией, типизацией, стандартизацией и нормализацией узлов и деталей различных моделей дизеля одной марки;
3. доступностью дизеля к проведению технического обслуживания, монтажных, регулировочных и проверочных работ.

В составе показателей технологичности второй группы дополнительно выделяют конструктивную и технологическую металлоемкость, причем первая из них определяется отношением массы машины к одному из основных параметров технической характеристики, например, мощности привода, развиваемой мощности и т.д., а технологическая металлоемкость оценивается коэффициентом использования металла заготовки (отливки, поковки, штамповки и т.д.).

В составе стандартов ЕСТД регламентируются не только показатели технологичности конструкции, но и правила ее обеспечения, которые в практических условиях зачастую обуславливаются не столько требованиями к эксплуатационным качествам, сколько масштабами будущего машиностроительного или ремонтного производства. Действительно, несложно установить, что одно и то же изделие будет обладать различной экономичностью в условиях, например, единичного и крупносерийного производства. Эта объясняется тем, что использование специального оборудования и инструмента при изготовлении или ремонте машин крупными сериями способствует снижению припусков на механическую обработку заготовок и восстанавливаемых деталей, уменьшает технологическую металлоемкость и трудовые затраты на осуществление всего технологического процесса.

Основной отличительной особенностью ЕСТПП и ЕСТД является переход к оформлению отдельных технологических процессов и другой документации в виде, удобном для последующей обработки информации с использованием современной вычислительной техники, что обеспечивает автоматизацию технологического проектирования и труда инженерно-технического персонала промышленных предприятий.

### ***1.4.6 Типизация технологических процессов в машиноремонте***

Одним из основных направлений совершенствования технологической подготовки машиноремонтного производства является технологическая унификация, которая находит свое конкретное проявление в типизации проектируемых или действующих процессов и групповой обработке деталей при восстановлении и последующем обеспечении точностных параметров этих деталей механической обработкой.

Современная система типизации технологических процессов базируется на классификации собственно процессов и ремонтируемых деталей. В качестве классификационных признаков обычно принимают форму (конфигурацию), размеры, точность и качество обработанной поверхности, а структурно классификационная схема включает класс, подкласс, группу и тип.

Типом называется совокупность конструктивно сходных деталей, имеющих общий технологический процесс механической обработки.

Типовой технологический процесс обеспечивает систематизацию и стандартизацию последовательности обработки однотипных деталей, однако не исключает возможность добавления или устранения нехарактерных операций в том или ином конкретном случае. Типизация технологических процессов может осуществляться в двух направлениях. Первое (основное) направление связывается с проведением классификации самих деталей, в результате чего выявляется определенное число типов, характеризующихся общностью принципиальных технологических процессов. Второй (вспомогательный) путь состоит в определении технологических решений, относящихся к обработке отдельных поверхностей или их сочетаний.

Все типовые технологические процессы разделяются на единичные, операционные и маршрутные, представляющие совокупность типовых операций.

Наиболее просто вопросы типизации технологических процессов решаются при организации производства стандартизированных деталей. В этих случаях создаются благоприятные условия для оформления типовой технологии в виде отраслевых руководящих материалов и нормалей.

Главное значение типизации в машиностроении и машиноремонте состоит в том, что она способствует унификации технологической оснастки и инструмента, упрощая не только подготовку производства, но и практическую реализацию выбранной последовательности механической обработки, технику нормирования ее и т.д.

В ремонтном производстве судовых дизелей номенклатура типодеталей достаточно велика, а сами работы по восстановлению работоспособности изделий и узлов отличаются непостоянством объема и различным характером. Вместе с тем, типовые этапы технологического процесса ремонта (мойка, разборка, дефектация и т.д.), их повторяемость, а также возможность выделения общих признаков у различных объектов ремонта (по методу восстановления, конструктивным особенностям) создают предпосылки к эффективному использованию типизации. Для машиноремонта типизация технологических процессов имеет особое значение, потому что позволяет существенно укрупнить единичное и мелкосерийное производство и за счет этого

применять восстановительные и ремонтные работы, свойственные крупносерийному ремонту.

Одной из форм типизации являются групповые технологические процессы, которые наиболее широко распространены в машиностроительном производстве, однако при определенных условиях могут найти применение и при централизованном машиноремонте.

Групповой метод представляет собой способ унификации технологии производства (ремонта), при котором для определенных групп однородных по конструктивно-технологическим признакам деталей устанавливают однотипные концентрированные технологические процессы. Концентрация операций в этих случаях не только не ухудшает экономических показателей восстановления или механической обработки, но и благодаря применению многоинструментальных наладок станков (чаще всего токарно-револьверных) обеспечивает более высокую производительность, чем при использовании индивидуальной технологии.

Сущность группового метода состоит в классификации ремонтируемых деталей по группам, в пределах каждой из которых устанавливают или искусственно создают так называемую комплексную деталь, т.е. деталь, содержащую все конструктивные элементы остальных деталей данной группы (группы втулок, поршневых пальцев и т.д.). Технологический процесс разрабатывают на ремонт комплексной детали, а при наладке оборудования корректируют по конкретной детали. Групповой метод ремонта способствует устранению основного противоречия серийного производства, заключающегося в необходимости при быстром насыщении его дорогой специальной технологической оснасткой обеспечивать наибольшую экономичность и производительность

#### ***1.4.7 Безопасность труда при работах***

При работах по восстановлению и повышению срока службы деталей технических средств и корпуса судна используют металлообрабатывающее, электро- и газосварочное оборудование, различный инструмент и приспособления, электронагревательное и другое электрическое оборудование, растворы солей, кислотные и щелочные составы, различные клеи и лакокрасочные покрытия.

Работающие подвергаются при этом воздействию шума, тепловых и световых излучений, действию электрического тока и вредных выделений. Поэтому до начала выполнения работ исполнители должны быть ознакомлены с правилами техники безопасности и в процессе работы выполнять их.

##### **Основные правила:**

1. оборудование должно иметь в соответствующих местах ограждение (вращающихся и токоведущих частей), электрооборудование – заземление;
2. работать необходимо в средствах индивидуальной защиты;
3. помещения должны быть хорошо освещены, в гальванических цехах должно быть аварийное освещение;
4. при наличии вредных выделений помещение должно быть оборудовано соответствующей вентиляционной системой (приточно-вытяжной, местной);

5. токсичные материалы хранить в герметически закрывающейся таре и в специальных помещениях;
6. не курить и не принимать пищу при работе с токсичными материалами.
7. при попадании токсичных веществ на кожу немедленно удалять их ветошью, а затем промывать кожу теплой водой с мылом.
8. перед курением и приемом пищи мыть руки с мылом,
9. перед приемом пищи снимать спецодежду.
10. после работы принимать теплый душ.

К индивидуальным средствам защиты относят различные очки и наголовные щитки, респираторы и промышленные противогазы, противошумы, спецодежду, рукавицы и диэлектрические перчатки, специальную обувь и каски. Эти средства обычно играют дополнительную роль в предупреждении травматизма, однако в ряде случаев они являются единственным средством безопасности.

Спецодежду применяют следующую: хлопчатобумажную, шерстяную, брезентовую и асбестовую. При работах на станках, а также связанных с применением эпоксидных смол используют хлопчатобумажную одежду; с кислотами и щелочами – шерстяную; электро- и газосварочных – брезентовую; в зонах высоких температур – асбестовую.

При выполнении работ необходимо соблюдать правила ношения защитной одежды. Во время обслуживания механического оборудования для предупреждения опасности захвата одежды его вращающимися частями, приспособлениями, обрабатываемыми деталями следует строго следить за тем, чтобы одежда не имела свободно развевающихся концов, рваных частей. Рукава одежды при работе должны плотно облегать руку и быть застегнутыми.

Защитные очки применяют при работах, во время которых возможно образование отлетающей стружки, осколков и пыли, брызг или капель кислот и щелочей, а также различных паров и газов, лучистой энергии.

При сварочных работах каждый электросварщик для защиты лица и глаз от действия лучей электродуги должен быть обеспечен маской, или щитком с защитными стеклами (светофильтрами). Газосварщик должен быть обеспечен защитными очками.

Респираторы применяют для защиты органов дыхания. Используют респираторы ШБ-1 и «Лепесток» (от пыли), а также другие промышленные противогазы.

Противошумовые устройства применяют для защиты от воздействия шума. Используют **два типа противошумовых устройств:**

1. внутренние (заглушки или вкладыши, вкладываемые в наружный слуховой проход);
2. наружные (противошумные или шумозащитные наушники, прикрывающие полностью ушную раковину).

Защитные пасты используют для предохранения кожи лица, шеи и рук. При очистных и покрасочных работах, а также работах с нефтепродуктами применяют пасты ХИОТ-6 и ИЭР-1, при работах с водными растворами кислот и щелочей — пасту ИЭР-2.

## 1.5 Ремонт корпусов судов

### 1.5.1 Способы и сооружения для обнажения подводной части судов при ремонте

Для ремонта подводной части корпусов суда полностью или частично поднимают, используя специальные судоподъемные сооружения. Полностью обнажают подводную часть судна с помощью плавучих доков, эллингов и слипов. При судоремонте полностью или частично могут обнажать подводную часть корпуса судна кренованием, дифферентованием, вымораживанием, кессонированием.

**Плавучий док** состоит из плоского прямоугольного понтона, на стальной палубе которого размещены опоры для судов.

Такие доки бывают металлическими и железобетонными, монолитными и секционными, автономными и неавтономными. Основное отличие **секционного дока** заключается в том, что он состоит из нескольких обособленных секций. Монолитные доки представляют собой единое неразъемное сооружение.

**Автономный док** отличается от неавтономного тем, что он имеет собственную энергетическую установку и в нем можно выполнять доковые работы, не получая энергию с берега.

**Эллинг** является капитальным сооружением. Пути эллинга оснащены железнодорожными рельсами, по которым подъем и спуск судов на тележках осуществляют электрическими лебедками.

**Слипы** – самые распространенные судоподъемные сооружения на предприятиях речного флота. В качестве основного типа получил распространение поперечный слип гребенчатой системы.

Типовой **гребенчатый слип** представляет собой судоподъемное сооружение с наклонной плоскостью и боковыми стапелями, служащими для откатки и установки поднятых судов. Слип оборудован многокатковыми косяковыми и самоходными гидравлическими стапельными тележками. Для передвижения судна по стапельным путям имеется комплект четырехколесных ведущих и ведомых стапельных тележек.

**Горизонтальные стапели слипа** оборудуют порталными или башенными кранами для механизации подъемно-транспортных и ремонтных работ.

**Обсушка судна** заключается в использовании весеннего или осеннего подъема воды. Судно подводят на заранее подготовленную затопленную паводковую площадку со стапель-блоками и при спаде уровня воды выполняют посадку судна на них. Вывод отремонтированного судна в этом случае возможен лишь при очередном повторном подъеме воды.

**Кренование для обнажения подводной части корпуса** выполняют путем налива воды в бортовые или концевые отсеки, а также погрузкой необходимой массы груза на палубу или в корпусе судна.

При дифферентовании наклон судна в нос или корму достигают принятием балласта в форпик (ахтерпик), подведением понтонов под оконечности судна или подъемом оконечности судна краном.

Дифферентовать можно только суда, имеющие достаточную продольную прочность.

**Вымораживание корпуса судна** для обнажения поврежденных участков или винторулевого комплекса применяют в тех районах, где в течение зимы бывают устойчивые морозы и отсутствуют резкие колебания уровня воды. Процесс вымораживания состоит в вырубке льда для доступа к поврежденному участку подводной части корпуса судна.

**Кессоны** используют для устранения повреждений подводной части корпуса и винторулевого комплекса судна на плаву.

Применение кессонов позволяет проводить ремонтные работы снаружи и изнутри. Для обеспечения плотного прилегания кессонов к корпусу судна кромки их обшивают парусиной.

Простейший вид кессона представляет собой понтон, верхняя часть которого при поджатии к корпусу выступает над уровнем воды. Современные металлические кессоны оборудованы компрессорными установками, балластными насосами, сварочными аппаратами и другими механизмами. Все это обеспечивает автономность при производстве ремонтных работ.

### **1.5.2 Износы корпусных конструкций**

Корпуса и надстройки судов являются наиболее ответственными конструкциями, которые подвержены в эксплуатации нормальному физическому изнашиванию.

Постепенные отказы корпусных конструкций появляются в результате химического, электрохимического и биологического воздействия окружающей водной среды.

При *нормальной безаварийной эксплуатации* судов определяющими износами являются коррозионный и электрохимический.

*Коррозионное изнашивание* в результате химического взаимодействия железоуглеродистых металлов с газами и жидкостями – процесс неизбежный. Коррозионное разрушение существенно влияет на изменение общей и местной прочности корпусных конструкций.

*Скорость химического коррозионного разрушения* зависит от структуры, неоднородности металла, химического состава водной среды, материала, из которого изготовлен корпус судна и т.п.

По условиям протекания различают газовую и атмосферную коррозии. Первая из них характерна для разрушения металлов в газовой среде при высоких температурах, а вторая протекает в атмосферном воздухе при наличии на поверхности металла конденсата или тонкой пленки воды.

Оба эти вида коррозии могут распространяться равномерно (рисунок 1.29, *а*) или неравномерно (рисунок 1.29, *б*) по всей поверхности (сплошная коррозия) или только части ее (местная коррозия).

Местная коррозия разрушает отдельные участки конструкции пятнами (рисунок 1.29, *в*), язвами (рисунок 1.29, *г*). Она может быть в виде точек (рисунок 1.29, *д*), межкристаллическая (рисунок 1.29, *е*), сквозная (рисунок 1.29, *ж*) и подповерхностная (рисунок 1.29, *з*).

Предельные значения коррозионных износов листов обшивки и основных групп связей корпуса ограничены остаточными толщинами этих связей, численно регламентируемыми Правилами.

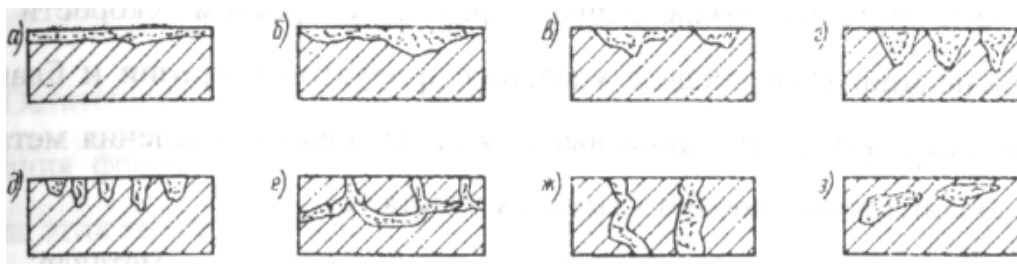


Рисунок 1.29 – Коррозионные разрушения металла

*Электрохимическая коррозия* разрушает металл под воздействием электрического тока, протекающего от одной части корпуса к другой.

Скорость электрохимического разрушения возрастает с увеличением содержания солей, кислот и щелочей в воде, температуры и скорости потоков, омывающих корпус.

*Эрозионное изнашивание* появляется в результате механического разрушения металла под воздействием потока жидкости или газа. Оно наблюдается в основном в местах наиболее интенсивных потоков (кормовая часть корпуса в районе винторулевого комплекса).

*Абразивное изнашивание* вызывается взаимодействием корпуса судна с абразивными материалами при плавании на мелководье, шлюзовании, перевозке песка, гравийных материалов и т.п.

*Коррозионно-механическое изнашивание* – это разрушение металла под влиянием механических воздействий, сопровождающееся химической и электрохимической коррозиями.

### 1.5.3 Остаточные деформации и повреждения корпусов

**Остаточные деформации** (общие или местные) представляют собой изменения формы и размеров корпусных конструкций без разрушения металла этих конструкций.

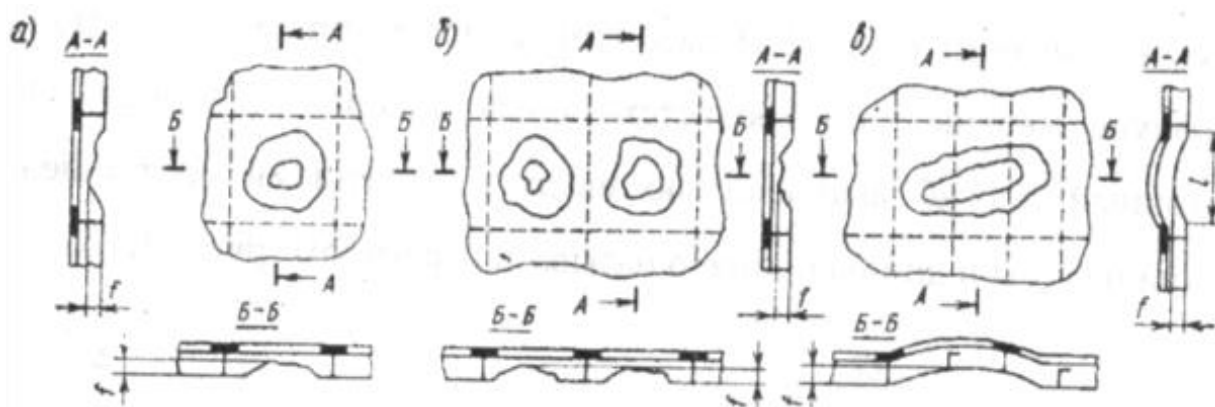
**Общие остаточные деформации** проявляются в виде прогибов и перегибов корпуса судна (рисунок 1.30). При общем и остаточном прогибе выпуклостью вниз (рисунок 1.30, а) расстояние между шпангоутами (шпация) по палубе меньше, чем соответствующая шпация по днищу. Общий остаточный прогиб выпуклостью вверх с обратными соотношениями шпаций палубы и днища принято называть перегибом (рисунок 1.30, б).



Рисунок 1.30 – Прогибы и перегибы корпусов судов

Основными причинами, вызывающими общие остаточные деформации в форме прогиба (перегиба), являются эксплуатационные волновые и технологические нагрузки. Эти нагрузки возникают из-за нарушения правил загрузки и разгрузки судна, выполнения больших объемов сварочных работ при ремонте корпуса без соблюдения установленной последовательности наплавки, и т.п.

Местные остаточные деформации проявляются в виде вмятин, бухтин и гофрировки (рисунок 1.31). Они образуются в процессе эксплуатации судов при столкновении их с плавающими предметами, навалах корпуса на стенки гидротехнических сооружений, при швартовке и шлюзовании, плавании судов в ледовых условиях и производстве перегрузочных работ.



а – вмятины; б – бухтины; в – гофрировка

Рисунок 1.31 – Местные остаточные деформации

Технологические местные остаточные деформации появляются в результате сварки и наплавки корпусных конструкций при постройке или ремонте судов. Эти деформации обычно устраняют безударной тепловой правкой.

**Вмятины** (рисунок 1.31, а) – это местные остаточные деформации листов обшивки корпуса совместно с набором. Вмятины оказывают влияние на местную и общую прочность судна.

Наибольшее влияние на общую прочность оказывают вмятины, расположенные в средней части судна на днище или палубе и охватывающие большие участки этих связей по ширине корпуса.

**Бухтины** (рисунок 1.31, б) – это местные отдельно расположенные остаточные прогибы листов между балками судового набора. Они определяются стрелкой прогиба, длиной и шириной. На общую прочность корпуса судна и сопротивление воды движению судна они не влияют.

**Гофрировки** (рисунок 1.31, в) представляют собой остаточные прогибы листов между несколькими последовательно расположенными балками судового набора. Они характеризуются стрелкой прогиба и районом распространения по длине и ширине судна. Гофрировки влияют на местную прочность, а при расположении в средней части корпуса и на общую прочность судна.

**Трещины** в обшивке и наборе корпуса могут быть поверхностными, сквозными и внутренними. Образованию трещин способствуют повышенные внутренние



напряжения, концентраторы напряжений, значения и характер изменения действующих нагрузок.

#### ***1.5.4 Организация дефектации судов при ремонте***

При ремонте корпусов судов дефектацию проводят для оценки технического состояния конструкций и установления необходимых объемов ремонта с целью поддержания судна в работоспособном состоянии.

*Подготовка корпуса судна к дефектации* предусматривает следующие операции:

- 1) подъем судна на слип и установку его на кильблоки или клетки высотой не менее 1 м;
- 2) удаление цементных заливок, зачистку металла в местах измерения износов; нумерацию шпангоутов по наружной обшивке корпуса

Дефектацию корпуса выполняют специальные комиссии, в состав которых включают представителей судоремонтного предприятия (обычно председатель комиссии) и судовладельца, мастеров отдела технического контроля и судоремонтного цеха предприятия, капитана или механика ремонтируемого судна.

*Капитан судна представляет в комиссию:*

- 1) паспорт судна и чертежи корпуса;
- 2) книгу судовых документов РРР на годность к плаванию;
- 3) вахтенный журнал;
- 4) акт дефектации для судов, техническое состояние которых оценивают при следующем ремонте;

*Результаты дефектации представляют в виде следующих документов:*

1. растяжки наружной обшивки обоих бортов, настилов палуб и двойного дна, обшивок внутренних переборок с указанием повреждений и износов;
2. таблицы измерений повреждений и износов основных групп связей корпуса;
3. акта дефектации с указанием объемов работ по замене поврежденных и изношенных элементов корпуса.

Акт дефектации кроме общих сведений о судне и объемах ремонтных работ содержит заключение о способах устранения дефектов.

#### ***1.5.5 Обследование и оценка технического состояния корпусных конструкций***

*Обследование корпусных конструкций* проводят для оценки износов групп связей, местных остаточных деформаций наружной обшивки, настила и набора.

Техническое состояние изношенного корпуса устанавливают по остаточной толщине его элементов и групп связей.

Остаточные толщины измеряют отдельно для листов и элементов набора.

Обследование корпусных конструкций выполняют в два этапа. На первом этапе определяют возможность дальнейшей эксплуатации судна с соответствующей оценкой технического состояния без ремонта.

Количество измерений на этом этапе в одном отсеке на балках набора и переборках устанавливают отдельно для днищевого, бортового и палубного наборов. В тех случаях, когда остаточные толщины отдельных связей или групп этих связей

меньше минимально допустимых значений, проводят дополнительные обследования (второй этап) с более детальными измерениями толщин.

**Местный износ** оценивают по линейному истиранию листа, канавочному и язвенному износу. Точки измерения местного износа обычно выбирают на основании визуального осмотра в наиболее изношенных местах или по середине пластины.

**Канавочный и язвенный износы** устанавливают по разности остаточной толщины листа и глубины язв.

Остаточные толщины листов определяют по двум схемам измерений (рисунок 1.32). По первой схеме (рисунок 1.32, а) измеряют толщины по диаметральной плоскости в трех сечениях: (при 0,5 длины судна, точка 2 в носовой и кормовой оконечностях (соответственно т. 1 и 3). Количество измерений ограничивают тремя. При фактических измеренных остаточных толщинах, отличающихся друг от друга более, чем на 0,5мм, количество точек измерений увеличивают до семи точек 1–7 (см рисунок 1.32, б).

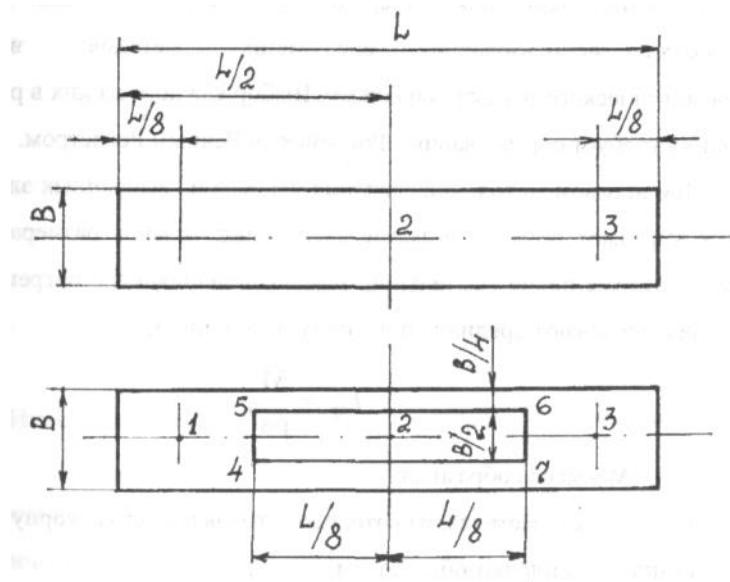


Рисунок 1.32 – Схемы измерения остаточных толщин

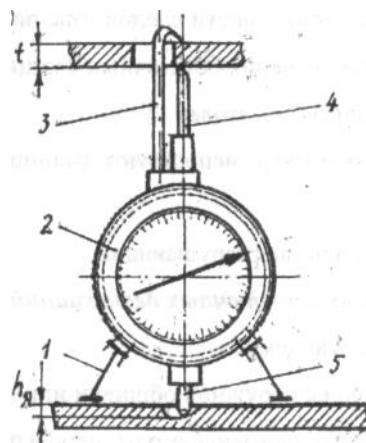
Расчетные значения остаточных толщин листа и средние остаточные толщины в районах местного износа корректируют с учетом язвенного и канавочного износа.

При обследовании элементов набора устанавливают абсолютные, средние и наименьшие значения остаточных толщин.

Принципиально для измерения (оценки) остаточных толщин возможно использование следующих методов: весового, микрометрического и ультразвукового.

**Весовой метод оценки износов** связей отличается простотой и доступностью, хотя и относится к методу разрушающего контроля.

**Микрометрический метод измерения износов** связей элементов корпуса судна предусматривает определение остаточных толщин с помощью специальных индикаторных приборов (рисунок 1.33).



**Рисунок 1.33 – Измерение износов связей корпуса микрометрическим методом**

Среднюю глубину язвы определяют также, как среднее арифметическое из глубин 6–10 язв наиболее глубоких, средних и мелких.

Микрометрический метод измерения остаточных толщин связей так же, как и весовой является разрушающим, однако он требует значительно меньших сопутствующих работ по подготовке поверхностей к измерениям.

**Ультразвуковой контроль** рекомендуется как основной и не требует дополнительных согласований с Регистром. Он позволяет определять остаточные толщины групп связей с точностью  $\pm 0,15$  мм. Ультразвуковой контроль требует предварительной подготовки поверхности. При ультразвуковом контроле используют толщиномеры Кварц-6, УИТ-Г9, УТМ-20 и др.

Ультразвуковой контроль – неразрушающий.

**Обследование местных остаточных деформаций** корпусных конструкций сводится к следующему:

- 1) измерениям со стороны наружной обшивки или настила максимальной стрелки прогиба.
- 2) осмотру со стороны набора отрыва его от обшивки, выпучин стенок рамного набора и т.д.;
- 3) определению отношения максимальной стрелки выпучин к высоте рамного набора.

При дефектации корпуса по местным остаточным деформациям не учитывают и не включают в таблицу дефектации:

1. вмятины при стрелках прогиба балок набора меньше 20 мм;
2. вмятины на бортах и оконечностях, захватывающие холостой набор со стрелками прогиба до 30 мм;
3. бухтины и гофрировки со стрелкой прогиба до 35 мм.

**Оценка технического состояния** корпусов судов речного флота ведется в соответствии с Правилами Речного Регистра и Инструкцией по дефектации судов. Этими документами установлены три оценки технического состояния: **годное, годное с ограничениями и негодное.**

Основанием для установления той или иной оценки конкретному судну является соответствие численных значений фактических износов или деформаций установленным нормативам.

Все дефекты корпусных конструкций в отношении нормативных требований разделяют на три группы:

- 1) дефекты, с которыми судно не допускается в эксплуатацию (переломы корпуса, разрывы связей и т.п.);
- 2) дефекты, нормативы для которых устанавливают в зависимости от условий эксплуатации и назначения судна, запасов прочности и размерений корпуса;
- 3) дефекты, не вошедшие в первые две группы.

Оценку технического состояния **«годное»** устанавливают только в том случае, если фактические износы и остаточные **деформации** меньше нормативных. Судно с технической оценкой **«годное»** может эксплуатироваться до следующего очередного освидетельствования без ремонта.

Превышение фактических износов и остаточных деформаций нормативных значений приводит к установлению оценки технического состояния **«негодное»**.

### ***1.5.6 Ремонт корпусов судов заменой связей***

Все технологические процессы по ремонту корпусных конструкций можно разделить на две группы. К первой группе методов восстановления корпусов судов по принятой классификации относят ремонт конструкций с заменой дефектных участков новыми сборочными единицами или их элементами.

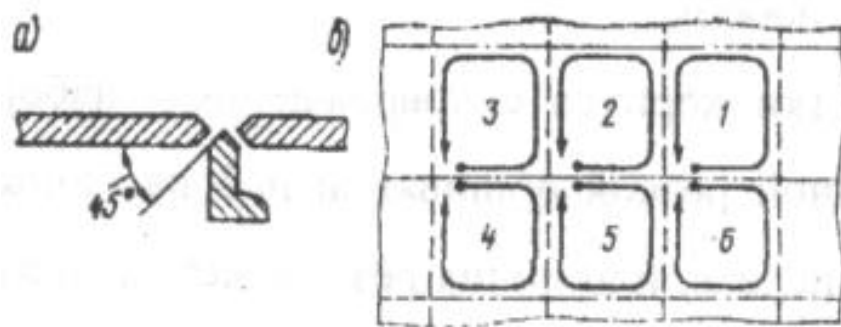
Вторую группу методов ремонта составляют технологические процессы, направленные на поддержание корпусных конструкций в работоспособном состоянии по общей и местной прочности без устранения дефектов, а только благодаря компенсации их отрицательного воздействия. К этой группе относят подкрепление ослабленных элементов конструкций дополнительными связями, правку деформаций полотниц и набора непосредственно в составе корпуса, заварку трещин, раковин, корродированных сварных швов и т.д.

Техническая оснащенность предприятий, наличие и пригодность грузоподъемных средств и судоподъемных сооружений, уровень технологической подготовки производства и т.п. – главные факторы, от которых зависит эффективность ремонта.

*К основным технологическим операциям по ремонту корпусов судов относят:*

1. смену обшивки и набора;
2. правку судовых конструкций в составе корпуса;
3. ремонт подкреплением и композиционными материалами.

Поврежденную обшивку и набор заменяют подетально или специально разработанными сборочными единицами (секциями). В любом случае последовательность выполнения технологических операций сводится к разметке и установке этих конструкций в корпус.



**Рисунок 1.34 – Схема разделения обшивки и набора**

При разметке удаляемых конструкций, кроме линий фактического реза, наносят контрольные контуры, отстоящие от линий реза на расстоянии 50 и 100 мм.

Резку ведут чаще всего газокислородными способами. Скорость резки выбирают в зависимости от толщины разрезаемого металла.

До начала резки выставляют временные подкрепления в соответствии с ремонтной документацией. Последовательность резки следует всегда принимать одинаковой и сначала разделять набор, а затем полотнище.

При замене только обшивки дефектные участки допускается вырезать отдельными пластинами (картами) 1–6, расположенными между набором. Благодаря этому удастся избежать подрезки кромок набора и устранить дополнительные работы по восстановлению кромок наплавкой.

После резки кромки и поверхности не удаляемых элементов конструкций выправляют, зачищают и разделявают под сборку и сварку.

Новые листы подготавливают в цехе с соблюдением технических требований по размерам. Габаритные размеры заготовок устанавливают с припуском 20–30 мм на сторону. Новые листы, предназначенные для замены обшивки скуловых, носовых и кормовых образований, которые имеют лекальные формы, размечают в цехах с помощью шаблонов.

Дефектные участки корпуса с поврежденным набором заменяют также с предварительной резкой обшивки и набора. Зоны резки обеих этих частей могут совпадать, или линия реза может отстоять от разделки обшивки на расстоянии 150–200 мм. Высокий рамный набор чаще не вырезают полностью, а удаляют в нем только дефектные участки стенок, потерявших устойчивость. Восстанавливают дефектные участки холостого и рамного наборов сваркой новых элементов встык.

При капитальном ремонте многих сухогрузных судов предусматривают замену настила второго дна и палуб. В этих случаях более рациональным часто оказывается секционный метод восстановления общей и местной прочности корпуса.

При установке под сварку небольших прямоугольных вставок зазор в стыке со стороны мидель-шпангоута должен соответствовать технологической документации, а в противоположном стыке его выбирают с учетом укорочения вставки после выполнения сварочных работ.

Для предотвращения трещин в жестком контуре предусматривают специальную разделку кромок и сварку ведут отдельными участками.

### 1.5.7 Правка судовых конструкций

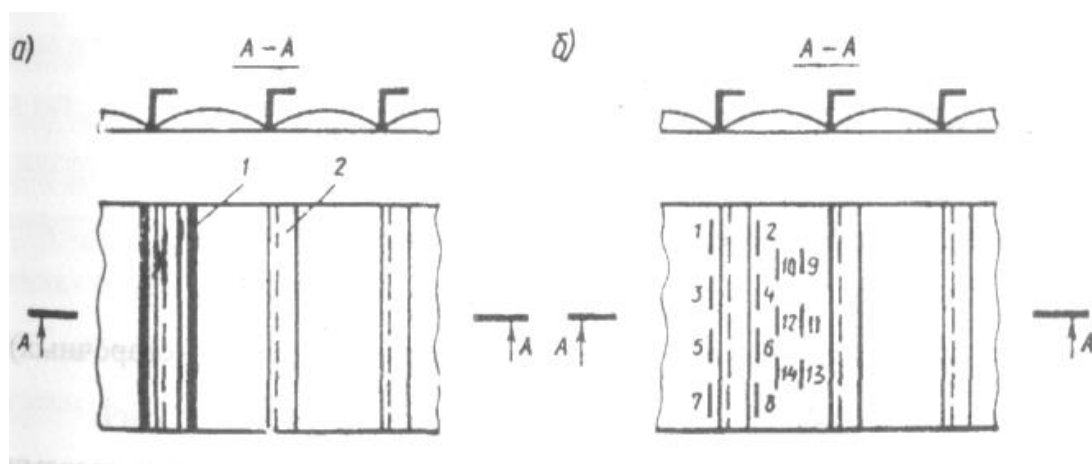
Правку судовых конструкций в составе корпуса применяют для устранения остаточных деформаций (бухтин, гофрировок, вмятин и т.д.) В зависимости от характера воздействия на деформированные элементы различают правку в холодном состоянии, тепловую безударную и термосиловую правку, которая сочетает в себе деформирование конструкций силовыми воздействиями, сопровождающимися нагревом, а также правку с разрезами.

Выбор и эффективность того или иного способа правки обуславливается природой образования остаточных деформаций.

Механическая правка деформированных элементов корпуса в холодном состоянии, как правило, не приводит к положительным результатам при устранении тех дефектов, которые выходят за пределы регламентированных.

Тепловая безударная правка деформированных элементов связей является пригодной для устранения дефектов, образовавшихся в результате возникновения сварочных напряжений. В качестве источника теплоты при безударной правке используют ацетилено-кислородное пламя, прямую электрическую дугу или плазменную струю.

Тепловую правку гофрировок выполняют нагревом полотнищ непрерывными полосами под набором или прерывистыми полосами (штрихами) между набором. Выбор варианта нагрева при этом определяется соображениями устойчивости нагреваемого полотнища, а, следовательно, соотношениями толщины листа и эффективной погонной энергии нагрева. Последовательность нагрева полос 1 (рисунок 1.35, а) и штрихов (рисунок 1.35, б) выбирают такой, что сначала, например, нагревают полосы и штрихи (в порядковой очередности) под нечетными балками 2 (см. рисунок 1.35, а) набора, а затем под четными и т.д.



а – полосами; б – штрихами

1 – полосы; 2 – балки

Рисунок 1.35 – Схема нагрева деформированной обшивки при тепловой правке

Тепловую правку волнистости и отдельных бухтин проводят нагревом полотнищ штрихами, расположенными под углом  $45^\circ$  к направлению балок набора (рисунок 1.36).

Такое положение штрихов обеспечивает наибольшую подсадку металла. Порядковые номера штрихов на рисунок 1.35 соответствуют последовательности их наложения.

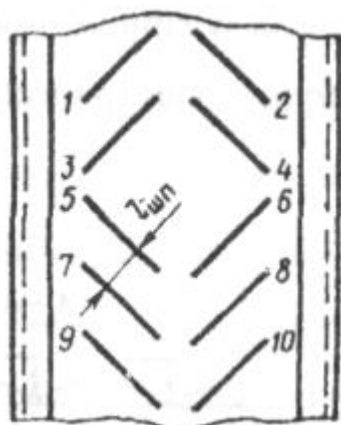


Рисунок 1.36 – Схема нагрева бухтин наклонными штрихами

Тепловая безударная правка технологических (сварочных) остаточных деформаций является эффективным процессом.

Для устранения эксплуатационных остаточных деформаций, выходящих за пределы нормативных, используется термосиловая правка.

Сущность термосиловой комбинированной правки состоит в том, что на деформированную поверхность (рисунок 1.37) одновременно и последовательно оказывают влияние внешнее усилие  $P$  от специальных домкратов и нагрев.

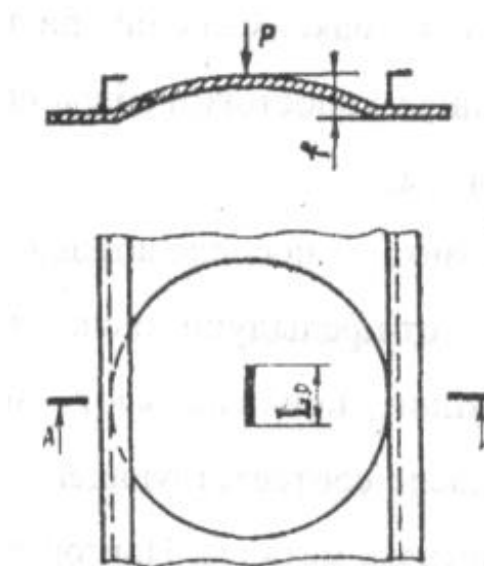


Рисунок 1.37 – Схема термосиловой правки конструкций

Приложение нагрузки не в одной точке, а распределенным образом по некоторому участку  $L_p$  прямой (см. рисунок 1.37) в районе максимального прогиба можно выправить бухтины со стрелкой прогиба на 5–10 мм больше, чем при действии сосредоточенной нагрузки.

При комбинированной правке уменьшение стрелки прогиба бухтины происходит благодаря подсадке металла с одновременным действием поперечной нагрузки. Комбинированную правку вмятин начинают с правки набора.

Практически целесообразно править только холостой набор. При больших деформациях холостого набора его заменяют новым или ремонтируют подкреплением.

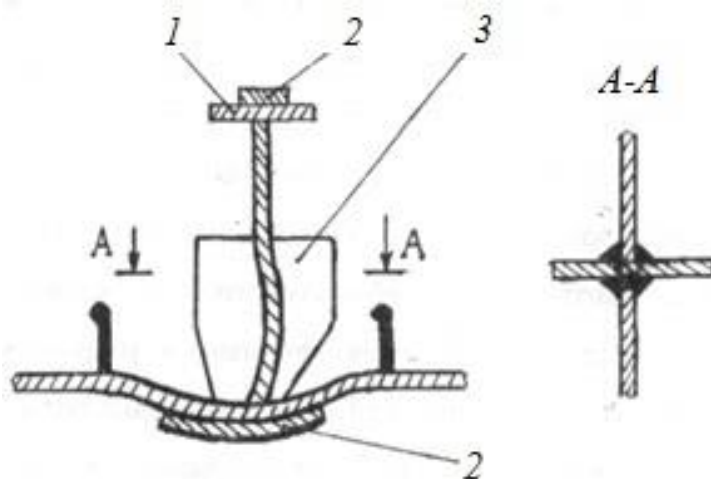
### ***1.5.8 Ремонт корпусных конструкций подкреплением***

Ремонт корпусных конструкций подкреплением сводится к постановке новых дополнительных связей, компенсирующих износы или повреждения отдельных участков корпуса. Ремонт подкреплением корпуса позволяет сократить затраты металла на ремонт, избежать ряда сопутствующих ремонту работ, например, снятие изоляции, кабелей, трубопроводов и т.п., уменьшить продолжительность ремонта, полностью восстановить, а при необходимости и увеличить прочность корпуса судна.

Подкрепление корпусов судов в судоремонте рассматривают в качестве модернизационных и компенсационных мероприятий по поддержанию судов в работоспособном состоянии. Эти мероприятия предназначены для повышения общей и местной прочности корпусов судов.

**Увеличение площадей существующих балок набора.** Таким образом компенсируют потерю работоспособности корпуса вследствие изнашивания. Такое подкрепление, как правило, применяют для повышения местной прочности корпуса.

При ремонте деформированного и изношенного рамного набора толщину полос 1 и бракет 2 принимают равной остаточной толщине соответствующего элемента рамного набора (рисунок 1.38).



1 – полоса; 2 – бракет; 3 – прорезной бракет

**Рисунок 1.38 – Схема ремонта рамного набора подкреплением**

Полосы на меньший или больший пояски устанавливают в том случае, когда минимальный момент сопротивления, изношенного и деформированного рамного набора меньше допускаемого.



Длина накладной полосы, устанавливаемой на поясok всегда должна быть больше длины участка, захваченного вмятиной на рамном наборе.

Прорезные бракетy 3 устанавливают тогда, когда выпучены стенки или кромочные деформации превосходят допускаемые значения. Расстояния между прорезными бракетами принимают равным высоте рамного набора, но не более 0,5 м. Бракетy обваривают со всех сторон по прорези катетом шва, равным толщине прорези.

### **Размещение дополнительных балок набора**

Так повышают местную и общую прочность корпусов судов. При этом прочность корпуса судна повышается, благодаря вновь установленным балкам и более полному вовлечению в работу листов настилов и наружной обшивки.

### **Установка дополнительных конструкций**

Этот способ чаще всего применяют для повышения общей прочности корпуса. Устанавливаемые накладные полосы распространяют на достаточную часть длины судна. Их размещают над жесткими связями основного корпуса (рисунок 1.39). В этих случаях используют накладные полосы 1, перекрывающие по длине дефектное сечение. Толщину полос подкрепления принимают не менее 10–12 мм, а ширину не более половины расстояния между продольными ребрами жесткости. Длина полосы подкрепления зависит от шпации и длины собственно листа.

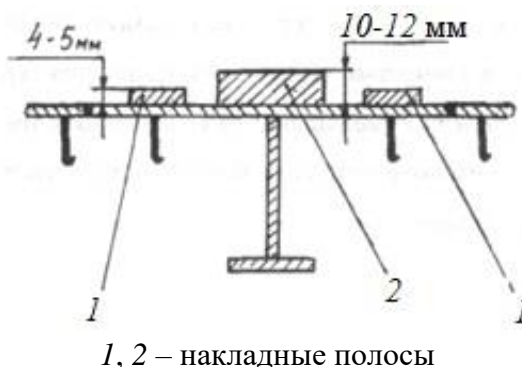


Рисунок 1.39 – Схема подкрепления накладными полосами

При восстановлении общей прочности корпуса в районе вмятин на днище или палубе количество полос подкрепления связано со значениями средней остаточной толщины связи.

Местную прочность восстанавливают установкой накладных полос 2 толщиной 4–5 мм и шириной 140–180 мм над всеми продольными балками в пределах ремонтируемого листа.

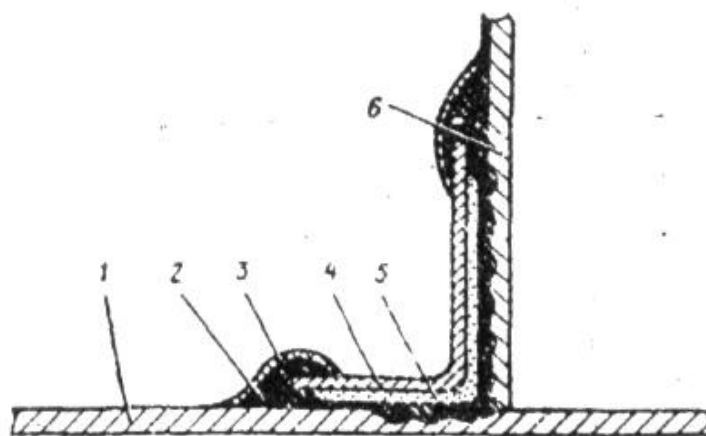
При восстановлении общей прочности корпуса в районе вмятин на днище или палубе количество устанавливаемых полос определяют расчетным путем.

### **1.5.9 Неметаллические покрытия при ремонте корпусов. Испытания корпусов после ремонта**

Композиционные и неметаллические покрытия при ремонте корпусных конструкций используют для предотвращения коррозионного изнашивания, восстановления прочности деформированных конструкций, обеспечения непроницаемости при незначительных дефектах и действующих нагрузках.

Неметаллические покрытия на основе стеклопластиков применяют в основном для профилактики, так как они не обеспечивают восстановление прочности поврежденных конструкций. В неметаллических покрытиях наполнителем, который армирует приготовляемую массу, является стеклоткань. Перед ее пропиткой связующим веществом из стеклоткани удаляют замасливатели промывкой в техническом растворе или прокаливанием в течение 1,5–2 ч. при температуре около 230<sup>0</sup> С. В качестве связующего вещества используют, например, клей «Спрут-5М».

Композитные конструкции на основе полимерного заполнителя часто используют совместно со стеклопластиковым покрытием для усиления комингсов б (рисунок 1.40). В этом случае между комингсом и палубным настилом 1, а также накладным угольником 4 формируют полимерный заполнитель 5. Переходы от полимера заполняют специальной пастой 3 и стеклопластиковым покрытием 2.



1 – палубный настил; 2 – стеклопластиковое покрытие; 3 – паста; 4 – накладной угольник; 5 – полимерный заполнитель

**Рисунок 1.40 – Ремонт набора композитными покрытиями**

Более высокую прочность обеспечивают композитные конструкции на основе бетона и керамзитбетона.

#### **Испытания корпусов судов**

Этот этап после ремонта является завершающим. Испытания включают в себя проверку корпуса на непроницаемость и герметичность, т.е. способность сопротивляться проникновению через конструкцию соответственно жидкостей и газов.

Испытания на непроницаемость разделяют на предварительные, основные и контрольные.

Предварительные испытания корпусных конструкций после ремонта обычно сводят к керосино-меловой пробе сварных соединений

Основные испытания проводят после окончания сборочно-сварочных работ, а контрольные – только в тех случаях, когда в отремонтированных пространствах после предварительных или основных испытаний выполняли дополнительные газорезательные или сварочные работы.

Испытания на непроницаемость могут проводить наливом воды под напором и без напора, струей воды под давлением, обливом рассеянной струей, а также смачиванием керосином. Такие испытания на непроницаемость в зимнее время требуют оборудования специальными водогрейными установками.

Испытания на герметичность выполняют сжатым воздухом с избыточным давлением воздуха в отсеке. При испытаниях корпусных конструкций воздухом в зимнее время контролируемые соединения покрывают незамерзающим пенообразующим составом на основе этиленгликоля или этаноламина.

Из инструментальных методов контроля герметичности известны примеры использования специальных течеискателей.

### ***1.5.10 Антикоррозионная защита корпусов судов при ремонте***

#### **Способы очистки корпусов судов.**

Качество подготовки поверхности под окраску является основным показателем, определяющим долговечность защитного покрытия судовых конструкций. Эта подготовка при ремонте судов сводится к очистке окрашиваемых поверхностей от ржавчины, отслоившейся старой краски, различного рода загрязнений и т.п. Очистка корпусов судов и других судовых конструкций – трудоемкий процесс, который ограничено поддается механизации и автоматизации из-за сложности конструктивного исполнения элементов судна.

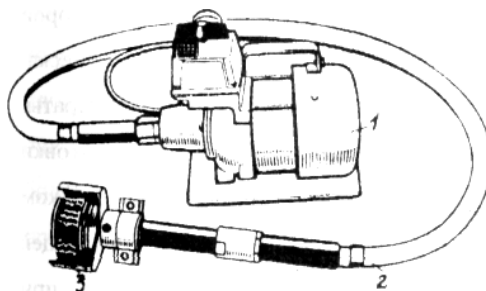
По своей сложности все судовые конструкции подразделяют на три группы:

- 1) поверхности корпусов, надстроек, плоскостных и объемных секций, не имеющих с окрашиваемой стороны набора ребер, со свободным доступом для очистки с площадью свыше 1 м<sup>2</sup>;
- 2) те же поверхности со свободным доступом для очистки от 0,2 до 1,0 м<sup>2</sup>;
- 3) поверхности объемных секций корпусов судов со сложными криволинейными обводами и погирьбой, имеющие набор со стороны очистки, а также конструкции с ребрами жесткости при площадях со свободным доступом для очистки менее 0,2 м<sup>2</sup>.

Применительно к современной очистке корпусов речных судов необходимо различать следующие методы: механические, абразивные, гидроабразивные и гидродинамические.

**Механическая очистка (МО)** конструкций сводится к удалению продуктов коррозии и загрязнений, старых лакокрасочных покрытий при помощи металлических щеток, шарошек (рисунок 1.41), отбойных молотков и иглофрез. Производительность  $S_0$  такой очистки с использованием ручных механизированных пневматических или электрических инструментов не превышает 6 м<sup>2</sup>/ч (рисунок 1.42). Однако простота и доступность механической очистки, а также пригодность ее для очистки поверхностей

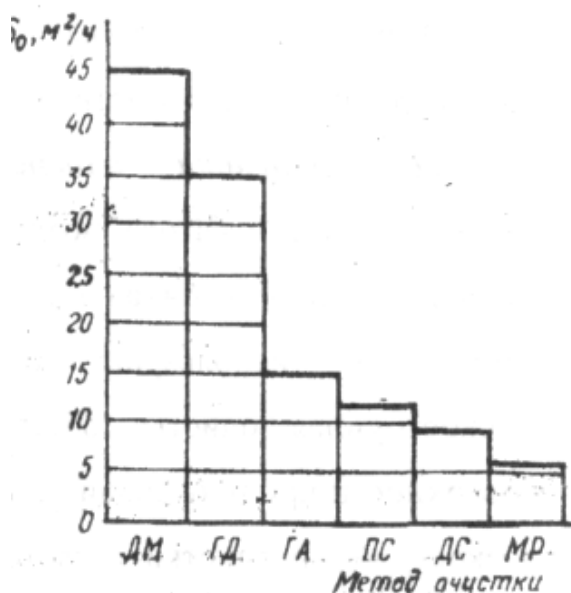
судовых конструкций любой группы сложности обеспечили наибольшее распространение этого процесса на судоремонтных предприятиях.



1 – двигатель; 2 – гибкий шланг; 3 – шарошка

**Рисунок 1.41 – Механическая шарошка для очистки корпусов судов**

Абразивные методы включают в себя пескоструйную, дробеструйную и дробеметную очистки.



АМ – абразивные методы; ГД – гидродинамические; ГА – гидроабразивные

ПС – пескоструйные; ДС – дробеструйная; МР – механическая ручная

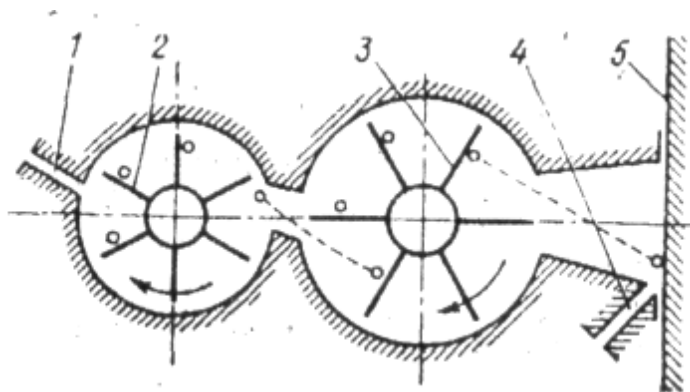
**Рисунок 1.42 – Гистограмма производительности методов очистки корпусов судов**

**Пескоструйная очистка** (ПС) ведется струей сжатого воздуха давлением до 0,6 атм, в которой содержится определенная масса сухого речного или кварцевого песка. При этом используют специальные пескоструйные аппараты. Пескоструйная очистка обеспечивает хорошее качество подготовки поверхности при производительности до 12 м² /ч. Серьезным недостатком пескоструйной очистки является интенсивное загрязнение окружающей среды кварцевой пылью.

Другими недостатками пескоструйной очистки является большой (до 25 кг/м²) расход кварцевого песка (для очистки корпуса теплохода типа «Балтийский» требуется около 70 т песка), а также необходимость организации специальных участков по регенерации и приготовлению песка.

**Дробеструйная очистка** (ДС) принципиально мало чем отличается от пескоструйной. В качестве рабочего тела используют колотую чугунную или стальную дробь. Давление сжатого воздуха и производительность при ДС несколько выше, чем при ПС. Процесс очистки сопровождается значительным пылеобразованием, требует больших затрат по сбору и регенерации дроби. Практического применения для очистки корпусов судов не получила.

**Дробеметная очистка** (ДМ) корпусов судов при ремонте осуществляется специальными установками (рисунок 1.43). В этих установках рабочее тело (колотая дробь) из накопителя по приемному патрубку 1 поступает на лопасти распределительного колеса 2, которое выбрасывает дробь на лопасти рабочего колеса 3, вращающегося вместе с распределительным колесом. С рабочего органа установки колотая дробь под действием центробежной силы направляется на обрабатываемую поверхность 5 и за счет кинетической энергии совершает работу по отделению продуктов очистки. Отработавшая дробь через патрубок 4 поступает в сборный бункер и затем снова в расходный накопитель.



1 – приемный патрубок; 2 – распределительное колесо; 3 – рабочее колесо;  
4 – патрубок; 5 – обрабатываемая поверхность

**Рисунок 1.43 – Схема дробеметной очистки корпусов судов**

Процесс очистки ведется непрерывно. Уплотняют стык очистной камеры и обрабатываемой поверхности несколькими рядами капроновых щеток.

Производительность дробеметной очистки днищ и бортов судов соответствующими агрегатами при проведении опытных работ достигает  $45 \text{ м}^2/\text{ч}$  с высоким качеством очищенной поверхности. Область применения этого метода очистки при ремонте корпусов судов ограничена из-за высокой скорости абразивного изнашивания рабочих органов установки, сложности регенерации дроби и низкой надежности агрегатов.

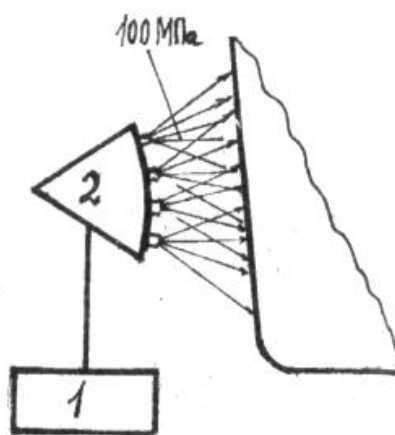
В судостроительном производстве стационарные дробеметные установки применяют в составе поточных линий для первичной обработки листового проката.

**Гидроабразивная очистка** (ГА) на практике нашла ограниченное применение. Сущность ее состоит в том, что в рабочую зону очистки под давлением подают водно-песчаную смесь (пульпу). В аппаратах гидропескоструйной очистки смешивание песка с водой происходит на выходе этих компонентов из сопла рабочей головки. Для предотвращения интенсивного окисления очищаемой поверхности в воду добавляют

(до 1,0 % по объему) антикоррозийный раствор. Производительность гидроабразивной очистки до чистого металла составляет до  $15 \text{ м}^2/\text{ч}$ . Практическое использование этого процесса требует вполне определенных климатических условий.

**Гидродинамическая очистка** (ГД) корпусов судов является одним из наиболее современных процессов. Она обеспечивает высокую производительность до  $35 \text{ м}^2/\text{ч}$  при ручной очистке и до  $100 \text{ м}^2/\text{ч}$  при механизированном перемещении многосопловых головок. При гидродинамической очистке используют насосы и аппараты высокого давления (до 100 атм).

Рабочим телом при гидродинамической очистке является вода, которую подают (рисунок 1.44) от насоса 1 высокого давления к многосопловым головкам 2. Производительность  $S_{\text{ог}}$  гидродинамической очистки гиперболически возрастает (рисунок 1.45) при увеличении давления  $P_c$  струи жидкости.



1 – насос; 2 – многосопловые головки

Рисунок 1.44 – Схема гидродинамической очистки корпусов судов

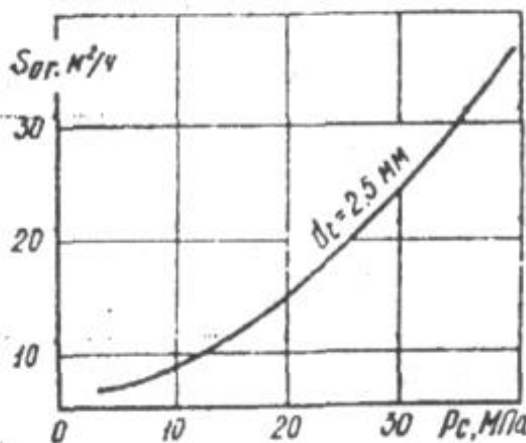


Рисунок 1.45 – Производительность гидродинамической очистки в зависимости от давления жидкости

Применение гидродинамической очистки так же, как и гидроструйной ограничено по климатическим условиям. К недостаткам этой очистки относят большое количество используемой воды (до  $15 \text{ т/ч}$ ), которое при нахождении судна на слипе приводит к техническим и экологическим проблемам.

Гидродинамическая очистка пригодна для обработки любых по протяженности и форме наружных поверхностей, относительно несложно поддается механизации и автоматизации.

### **Защита корпусов судов лакокрасочными материалами.**

Окраска корпусов судов при ремонте представляет собой основной метод защиты от коррозии. Около 80% всех поверхностей защищают от коррозии лакокрасочными материалами. Объясняется такое положение относительной простотой технологией защиты, доступностью технологической оснастки и материалов.

**Окраска корпусов судов на слипах и в доках** практически ничем не отличается одна от другой. В обоих этих случаях удобно механизировать технологический процесс нанесения покрытий и обеспечивать его энергией.

**Расположение окрашиваемых поверхностей** в пространстве и их конфигурации влияют на свободный доступ для проведения работ и могут заметно ограничивать механизацию защиты.

**Сезонность судоремонта**, низкие температуры и высокая влажность окружающего воздуха в осенне-зимний период сильно ограничивают применение тех или иных лакокрасочных материалов, а также наиболее прогрессивных методов нанесения покрытий.

**Лакокрасочные материалы** для окраски судовых конструкций выбирают с учетом температуры и метода нанесения покрытия, продолжительности его сушки, срока годности компонентов, группы сложности окрашиваемых поверхностей.

*При ремонте судов для антикоррозийной защиты лакокрасочными покрытиями используют следующие материалы:*

- фосфатирующие грунтовки ВЛ-02, ВЛ-08, ИЛ-023 (толщина однослойного покрытия 10-15 мкм);
- фенолформальдегидные грунтовки ФЛ-ОЗК, ФЛ-ОЗКК, ФЛ-03 (толщина однослойного покрытия 15-25 мкм);
- эмали ЧС-510, ЧС-720, обеспечивающее однослойное покрытие толщиной до 35 мкм из-за более высокой вязкости, и др.

Полная номенклатура лакокрасочных материалов, используемых для антикоррозийной защиты корпусов судов речного флота, область их применения и основные характеристики указываются в Правилах окраски судов.

Срок службы лакокрасочного покрытия зависит от качества лакокрасочных материалов и технологии окрасочных работ. Технология окрасочных работ включает в себя подготовку судовых конструкций под окраску, собственно нанесение покрытий и контроль качества антикоррозионной защиты.

Качество лакокрасочных материалов определяется следующими физико-химическими показателями: дисперсностью, вязкостью, смачиваемой способностью, содержанием нелетучего остатка и т.п.

**Дисперсность материалов** для покрытий хорошего качества должна быть такой, при которой размер частиц пигмента меньше толщины одного слоя краски.

**Вязкость лакокрасочных материалов** колеблется в широких пределах. Она ограничивает область применения тех или иных методов нанесения лакокрасочных

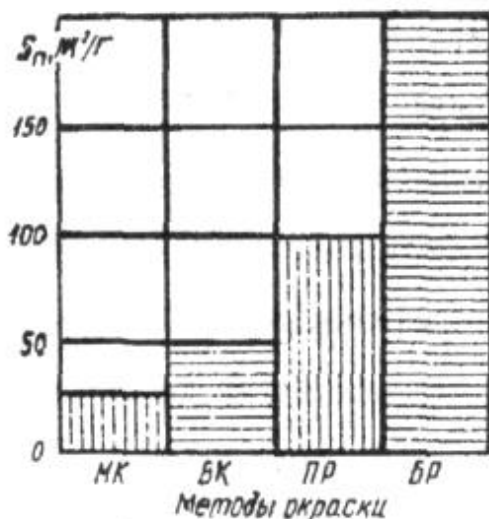
покрытий на судовые конструкции. Вязкость краски определяют чаще всего с помощью вискозиметров ВЗ-4. Численные значения ее составляют от 15–20 до 250–300 с. При необходимости вязкость лакокрасочных материалов уменьшают добавками растворителей, разбавителей и других жидких компонентов.

Количество слоев и длительность сушки антикоррозийного покрытия на судоремонтных предприятиях регламентируют Правила окраски судов. Сплошность защитной краски определяют специальными электрическими дефектоскопами.

### Методы нанесения лакокрасочных покрытий.

Судовые конструкции окрашивают маховыми (МК) и валиковыми (ВК) кистями, методами пневматического (ПР) или безвоздушного (БР) распыления.

**Нанесение покрытия маховыми или валиковыми кистями**, несмотря на низкую производительность  $S_n$  соответственно около 25 или 50 м<sup>2</sup>/ч, является наиболее распространенным на судоремонтных предприятиях (рисунок 1.46).



МК – маховые кисти; ВК – валиковые кисти; ПР – пневматическое распыление;  
БР – безвоздушное распыление

Рисунок 1.46 – Гистограмма производительности методов окраски корпусов

**Метод пневматического распыления** краски при нанесении защитных покрытий значительно производительнее окраски кистями. Он заключается в диспергировании лакокрасочного материала с помощью сжатого воздуха и нанесении его на окрашиваемую поверхность в виде мелкодисперсной аэрозоли.

Преимуществами метода являются: высокая производительность процесса и качество покрытия, пригодность его для покрытия доступных поверхностей любой конфигурации и в любых производственных условиях.

Однако этим методом невозможно наносить грунтовые покрытия из-за большого количества влаги и масла в аэрозольной смеси.

**Безвоздушный метод** распыления краски заключается в том, что свободная струя лакокрасочного материала размельчается в результате придания ей на выходе из сопла скорости, превышающей критическую. Термин «безвоздушное распыление» весьма



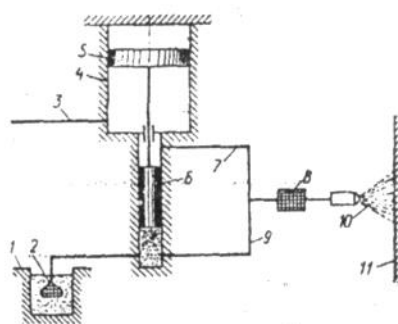
условный, так как в таких установках с пневматическими приводами воздух используют для создания высокого давления в насосе, подающем краску к распыляющим соплам.

Аппараты для безвоздушного распыления с пневматическим приводом (рисунок 1.47) работают по схеме, типичной для пневмогидроусилителей (рисунок 1.48). Воздух давлением 0,4–0,6 атм из магистральной сети через редукционный клапан 3 подается в пневмоцилиндр 4. Поршень 5 с плунжером 6 гидравлического насоса, перемещаясь вверх, через фильтр 2 засасывают лакокрасочный материал из сосуда 1 в нижнюю полость гидроцилиндра и нагнетают его, по трубопроводу 7 из верхней полости. При изменении направления движения поршня краска нагнетается к распылителю 10 и через него на окрашиваемую поверхность 11 из верхней и нижней полостей по трубопроводам 7 и 8 через фильтр 9. Реверсирование перемещений поршня пневмоцилиндра обеспечивается системой клапанов, смонтированных в поршне 5, а перекрытие соответствующих трубопроводов и плунжера 6 в том или ином такте работы установки невозвратными клапанами (на схеме не показаны).



1 – насос; 2 – емкость для краски;  
3 – распылитель

**Рисунок 1.47 – Аппарат безвоздушного распыления краски типа АБР-1М**



1 – сосуд; 2 – фильтр; 3 – редукционный клапан; 4 – пневмоцилиндр; 5 – поршень;  
6 – плунжер; 7, 8 – трубопровод;  
9 – фильтр; 10 – распылитель;  
11 – окрашиваемая поверхность;

**Рисунок 1.48 – Схема аппарата распыления краски**

Мелкодисперсный факел лакокрасочного материала при безвоздушном распылении получают благодаря мгновенному испарению растворителя при превращении потенциальной энергии сжатой струи в кинетическую на выходе из сопла.

*К преимуществам этого метода нанесения защитных покрытий относятся:*

1. высокая производительность процесса и качество покрытия;
2. меньшие по сравнению с пневматическим распылением потери краски на туманообразование;
3. возможность использования более вязких лакокрасочных материалов, а, следовательно, меньший расход растворителей и т.д.

В практических условиях для безвоздушного распыления, кроме пневмогидравлической аппаратуры, находят применение установки с электрическим приводом, что заметно расширяет область их применения.

Технологический процесс нанесения защитных покрытий на судовые конструкции требует слипания или докования судна для окраски подводной части корпуса.

При защите подводной части корпуса судна для обеспечения ровной и гладкой поверхности, снижения сопротивления воды движению судна предварительно шпаклюют язвенные коррозионные разрушения.

На судовые поверхности наносят несколько слоев лакокрасочного покрытия в зависимости от требуемой толщины и условий эксплуатации судна. Перед нанесением каждого такого слоя краски необходимо высушить предыдущее покрытие. В естественных условиях продолжительность высыхания краски достигает 96 ч.

Толщину покрытия измеряют выборочно на площади 1 кв. м не менее, чем в пяти точках. За действительную толщину принимают среднее арифметическое значение.

Для измерений толщины покрытия используют, в частности, электромагнитный толщиномер МТ-50НЦ, принцип действия которого основан на изменении ЭДС в обмотках датчика при колебаниях расстояния (толщины покрытия) между датчиком и ферромагнитной подложкой (обшивкой корпуса).

## **1.6 Методы восстановления и повышения срока службы деталей и корпуса судна**

### ***1.6.1 Методы восстановления***

Восстановление работоспособности и надежности механизмов и устройств при ремонтах производят:

- 1) заменой изношенных деталей, когда восстановление их невозможно или неэкономично;
- 2) восстановлением первоначальной геометрии и шероховатости рабочих поверхностей трения путем изменения первоначальных размеров деталей.
- 3) восстановлением размеров изношенных деталей путем наращивания металла с последующей механической обработкой и др.

В судоремонте применяют следующие виды восстановления: механической обработкой, сваркой и наплавкой, напылением, гальванопокрытиями, склеиванием, при помощи пластмасс, деформированием. На валах применяют электромеханический метод восстановления с добавочным металлом. Подшипники, залитые антифрикционным металлом, перезаливают или наплавляют.

***Восстановление механической обработкой.*** Этим методом восстанавливают первоначальные геометрические формы и шероховатость рабочих поверхностей деталей.

***Восстановление сваркой и наплавкой.*** С помощью сварки заваривают трещины в валах, втулках, корпусах механизмов и элементах корпуса судна, приваривают отломанные части деталей и т.д. Наплавкой восстанавливают размеры шеек валов, первоначальную толщину стенок коллекторов котлов в районе местных утонений, устраняют эрозионные износы лопастей гребных винтов и т. д.

В последнее время широко применяют легирование наплавляемого слоя, которое можно осуществить несколькими способами. Наиболее распространено легирование с

помощью наплавки легированной проволокой сплошного сечения с использованием соответствующих обмазок, флюсов или защитной газовой среды.

Для наплавки рабочих шеек валов используют хромоникелевую проволоку. Для придания рабочим поверхностям тарелок и седел клапанов большей твердости и износостойкости их наплавляют твердыми сплавами.

Новыми видами наплавки, которые в последнее время применяют в судовом машиностроении и судоремонте, являются дуговая наплавка ленточным электродом, электроимпульсная, плазменная, индукционная и электрошлаковая.

Сущность метода наплавки ленточным электродом состоит в том, что вместо электродной проволоки в зону дуги подается непрерывная лента шириной 20–120 мм, толщиной 0,3–0,8 мм. Широкой ленточной наплавкой электродом выполняют ленты из углеродистых, нержавеющей и цветных сплавов. При наплавке ленточным электродом используют электросварочные автоматы, как и для наплавки электродной проволокой.

Судовые гребные валы, баллеры, штыри рулей и другие цилиндрические детали судовых механизмов и устройств восстанавливают методом наплавки ленточным электродом. Этот метод можно применять при изготовлении биметаллических облицовок на гребные валы путем наплавки слоя нержавеющей либо цветного сплава на основу, изготовленную из углеродистой стали.

При электроимпульсной наплавке к детали, вращающейся в центрах токарного станка, непрерывно подают вибрирующий электрод. Электрод и деталь включены в цепь электрического тока низкого напряжения (18–24 В). При соприкосновении электрода с деталью происходит дуговой разряд, обеспечивающий наплавку металла электрода на деталь.

**Плазменная наплавка** отличается высокой производительностью, не требует сложного оборудования, позволяет наплавлять тонкие слои (до 250 мкм) металлов, в том числе и тугоплавких, обеспечивает стабильность дугового разряда и возможность регулирования степени нагрева основного и присадочного материалов.

Высокими технологическими и эксплуатационными свойствами отличаются наплавленные покрытия из порошковых хромоникелевых сплавов, легированные бором и кремнием.

Эффективным способом нанесения самофлюсующихся твердых сплавов на внутреннюю поверхность цилиндрических деталей является **индукционная наплавка**. Во время вращения шихта равномерно распределяется за счет действия центробежных сил. Окончательное формирование наплавленного слоя происходит так же, как и при центробежном литье.

Перспективным методом восстановления изношенных поверхностей деталей является электрошлаковая наплавка и сварка. При данном технологическом процессе нагрев и плавление металла совершается за счет тепла, выделяемого током, проходящим через шлаковую ванну после ее наведения.

Электрошлаковая сварка наиболее производительна для изделий, имеющих толщину 50 мм и более, она имеет следующие достоинства:

- позволяет сваривать изделия практически неограниченной толщины;
- полностью исключает тяжелый труд сварщика;

- обеспечивает высокие механические свойства металла шва и равномерное распределение напряжений по всему сечению изделий;
- позволяет отказаться в ряде случаев от последующей термообработки для снятия внутренних напряжений.

Для электрошлаковой сварки применяют сварочные полуавтоматы и автоматы.

Для сварки алюминиевых и алюминий-магний сплавов применяют аргонодуговую сварку как неплавящимся, так и плавящимся электродом. При сварке неплавящимся электродом между изделием и электродом возникает дуга с выделением тепла, при котором плавится присадочный прут, вносимый в зону сварки. В качестве неплавящихся электродов применяют вольфрамовые прутки диаметром 1–6 мм. Присадочную проволоку выбирают в зависимости от химического состава основного металла и от требований, предъявляемых к металлу сварного шва.

Значительную трудность представляет сварка чугуновых деталей. Известно несколько способов сварки чугуна:

- горячая с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 600–650° С;
- полугорячая (подогрев до температуры 300–400° С);
- холодная (без предварительного подогрева) с армированием и без армирования наплавленного металла стальными шпильками для разгрузки хрупкой переходной зоны.

При полугорячей и холодной сварках используют металлургические и технологические средства воздействия на металл шва с целью повышения качества сварных соединений. К их числу относятся:

- легирование наплавленного металла элементами графитизаторами с тем, чтобы при данной скорости охлаждения получить в шве структуру серого чугуна;
- легирование наплавленного металла такими элементами, которые позволяют получить в шве перлитно-ферритную структуру, характерную для низкоуглеродистой стали, путем связывания избыточного углерода в карбиды, которые обладают большей прочностью, чем цементит;
- введение в состав сварочных материалов кислородосодержащих компонентов с целью максимального окисления углерода и получения в металле шва низкоуглеродистой стали;
- применение сварочных материалов, обеспечивающих в наплавленном металле получение различных сплавов цветных металлов (медно-никелевых, медно-железных, железо-никелевых и др.), обладающих высокой пластичностью и имеющих температуру плавления, близкую к температуре плавления чугуна.

Для облегчения труда сварщиков и повышения производительности труда применяют механизированные способы сварки порошковой проволокой, обеспечивающей легирование и получение в наплавленном металле состава, соответствующего серому чугуну.

Для горячей сварки чугуна используют порошковую проволоку марки ППЧ-3 (углерода – 4,54–5,0%, кремния – 3,3–4,0%), для полугорячей – ППЧ-2 (углерода – 5,74–

6,5%, кремния – 3,3–4,0%), для холодной – ППЧ-1 (углерода – 6,5-7,0%, кремния – 3,8–4,2%).

Для полугорячей и холодной сварки применяют электроды из никелевых чугунов (никеля до 29%), а также из низкоуглеродистой проволоки (Св-08, Св-08А) с легирующим покрытием, содержащим достаточное количество графитизаторов (углерода и кремния), например, электроды марки ЭМЧС.

Для холодной сварки чугуна применяют электроды марки ЦЧ-4 из низкоуглеродистой проволоки (Св-08, Св-ЖА.) с ферро-ванадиевым покрытием (феррованадия – 66%), а также медно-никелевые из монель-металла (НМЖМц28-2,5-1,5) содержащего до 75% никеля, марки МНЧ-2.

А.И. Ивановым предложен способ холодной сварки чугуна (авт. свид. № 339358, опубликовано 24.5.72, бюллетень № 17, ЦНИИПИ) с предварительной обработкой свариваемых кромок активным углеродопоглотителем, в качестве последнего используется негашеная известь. После нанесения извести на кромки производят местный нагрев до температуры 400–600° С.

В результате содержание свободного графита в поверхностном слое серого чугуна уменьшается до процентного содержания, соответствующего низкоуглеродистой стали, на глубине 3–4 мм – среднеуглеродистой и на глубине 6 мм – высокоуглеродистой стали. При нагреве происходит реакция  $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$ . Обезуглероживание можно производить трехкратно.

Последующую сварку выполняют стальными электродами с принудительным охлаждением места сварки до температуры 50–60° С водой. Для этого свариваемую деталь помещают в воду так, чтобы поверхность под сварку выступала на 2–3 мм над водой.

**Восстановление напылением.** Этот метод используют не только для восстановления размеров изношенных деталей, но также для защиты от коррозии металлов и декоративных покрытий, ликвидации брака литья и др.

Процесс напыления осуществляют специальными аппаратами – металлизаторами путем распыливания расплавленной проволоки и нанесения распыленного металла на подготовленную поверхность детали. Металлизируемой поверхности для лучшего сцепления с напыляемым металлом придается повышенная шероховатость (грубо опиливается, нарезается специальная резьба и т.д.). Проволока в металлизаторе может расплавляться электрической дугой, токами высокой частоты, кислородно-ацетиленовым пламенем или плазмой. При использовании электрической дуги или токов высокой частоты распыливание производят сжатым воздухом. Частицы металла в жидком или пластичном состоянии попадают на поверхность детали, сцепляются с ней и между собой и образуют слой металла. Плотность получаемого слоя зависит от его толщины и расстояния сопла аппарата от металлируемой поверхности.

Это расстояние равно 100–200 мм. Распыливанием можно нанести слои толщиной 0,25–12,00 мм. *Достоинства способа:*

1. высокая скорость нанесения покрытия;
2. возможность нанесения покрытия из любого металла и получения больших толщин;
3. высокая износостойкость покрытия;

4. низкая стоимость;
5. невысокий нагрев основного металла (до 50–70° С) и др.

К **недостаткам** относятся невысокая прочность сцепления покрытия с основным металлом и низкие механические свойства самого слоя по сравнению с литым металлом.

**Широкие возможности имеет плазменное напыление**, а именно:

1. высокая температура плазмы, позволяющая применять для напыления любые тугоплавкие материалы;
2. обеспечивается более высокая плотность покрытий;
3. лучшая сцепляемость с основным металлом вследствие высокой скорости и температуры плазменного потока;
4. возможность регулирования в широких пределах режима напыления, в зависимости от требований и технологии;
5. высокая производительность напыления (например, для керамических порошков выше в 6–10 раз).

**Плазменное напыление** дает возможность получать покрытия, обладающие лучшим комплексом физико-химических и механических свойств, чем при электролитическом хромировании.

Значительный интерес представляет **детонационный метод нанесения покрытий**. К преимуществам покрытий, нанесенных этим методом (по отношению к описанным), относится их высокая прочность сцепления и высокая плотность (пористость менее 1%). Данный метод обеспечивает возможность нанесения любых материалов на любые подложки без изменения свойств материала основы.

Кроме того, только данный метод позволяет наносить металлокерамические твердые сплавы на основе карбидов вольфрама, хрома и титана. При этом свойства покрытий практически не отличаются от свойств аналогичных твердых сплавов, полученных методами спекания. Высокие эксплуатационные свойства покрытий, получаемых методом детонационного напыления, позволяют радикально (в 5–10 раз, а в некоторых случаях в 20–30 раз) повысить износостойкость и коррозионную стойкость узлов и деталей.

**Сущность метода детонационного напыления** заключается в следующем:

- 1) в трубу – ствол вводят заряд взрывчатой газовой смеси и определенную дозу порошка напыляемого материала;
- 2) с помощью электрической искры или взрывчатого вещества поджигают газовую смесь. В результате фронт пламени распространяется вдоль ствола с возрастающей скоростью и порождает детонационную волну, скорость распространения которой составляет 2–4 км/с;
- 3) возникший высокоскоростной поток придает необходимое ускорение напыляемому порошку и наносит его в виде покрытия на изделие. При этом деталь обычно не нагревается выше 250° С.

Высокие скорости напыляемых частиц (600–1000 м/с, что в 4–7 раз выше, чем при плазменном и газопламенном напылении) позволяют получать покрытия высокого качества. В качестве взрывчатых смесей используют смеси ацетилена, водорода, метана, пропана или бутана с кислородом или воздухом. Рекомендуемыми противоизносными

покрытиями при невысоких температурах являются детонационные покрытия на основе карбида вольфрама (ВК15).

Для придания покрытию антифрикционных свойств в условиях работы при высоких температурах (500–700° С) используют детонационное напыление природного дисульфида молибдена марки МВИГ с размерами частиц 5–10 мкм.

Толщина покрытия при этом – 20–50 мкм, коэффициент трения 0,1–0,2. Имеется опыт детонационного напыления серебристого графита, плакированного кадмием. В этом случае оказалось возможным напылять на сталь покрытие в несколько миллиметров.

Для детонационного напыления используют специальные детонационные установки. Скорострельность их обычно составляет три – пять выстрелов в секунду, длина ствола 1500–1800 мм, диаметр ствола 16–18 мм.

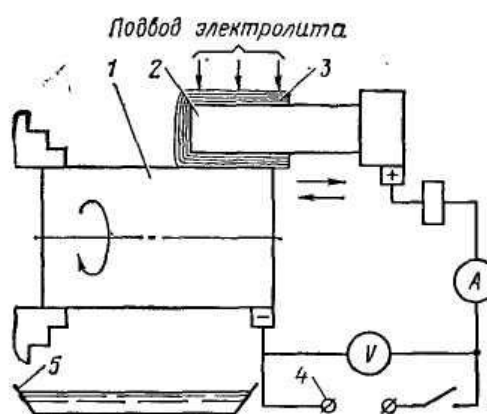
**Гальванопокрытиями** восстанавливают детали, размеры которых изношены на небольшую величину. В судоремонте применяют электролитическое хромирование и осталивание.

При восстановлении хромированием слой хромового покрытия делают толщиной не более 0,3 мм, так как при большей толщине снижается его прочность и, кроме того, хромирование становится экономически невыгодным. Восстанавливаемые поверхности, работающие на трение, подвергают пористому хромированию.

При осталивании слой осажденного металла на деталь можно доводить до 3–4 мм. Процесс осталивания идет в несколько раз быстрее, чем хромирование, и значительно экономичнее его. Осталиванием можно наращивать детали стальные, чугунные, а также из медных сплавов.

Электролитическим хромированием и осталиванием восстанавливают поршневые пальцы, шейки валов, посадочные места подшипников качения и т.д.

При необходимости восстановления поверхностей у крупных деталей, не размещающихся в гальванических ваннах, применяют метод гальванического натирания, сущность которого заключается в следующем (рисунок 1.49).



1 – поверхность детали; 2 – токопроводящий элемент; 3 – абсорбирующий слой;  
4 – источник постоянного тока; 5 – ванна

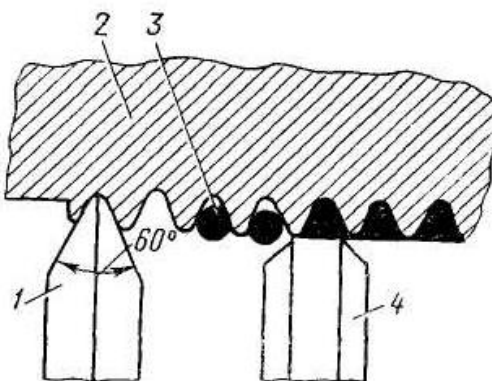
**Рисунок 1.49 – Схема гальванического натирания**

Токопроводящий элемент 2 соответствующей формы (электрод в виде сектора из мягкой стали) обматывают в несколько слоев абсорбирующим материалом (хлопчатобумажной тканью). Электрод с насыщенным электролитом абсорбирующим слоем 3 приводят в контакт с поверхностью детали 1. Деталь и электрод соединяют с источником постоянного тока 4 напряжением в 24 В (деталь с отрицательным полюсом, электрод с положительным). Деталь приводят во вращение; электрод при этом перемещают относительно детали. Угол контакта электрода с деталью принимают в пределах 180–200°.

Абсорбирующий слой, насыщенный электролитом, играет роль электролитической ванны, и при включении тока в нем происходит процесс электролиза. На поверхности детали (катоде) происходит отложение металла, ионы которого находятся в электролите. По мере расхода электролит пополняют, подводя по трубкам к абсорбирующему слою электрода. Стекающий электролит собирают в ванну 5.

С помощью гальванического натирания восстанавливают, например, посадочные места подшипников качения в корпусных деталях механизмов и на больших валах.

Восстановление электромеханической обработкой с добавочным металлом (рисунок 1.50) используют, если необходимо увеличить размер, например, шейки вала на небольшую величину (до 0,4 мм).



1 – ролик; 2 – деталь (вал); 3 – стальная проволока; 4 – ролик

Рисунок 1.50 – Схема электромеханического восстановления шейки вала с добавочным металлом

Деталь (вал) 2 устанавливают в центры токарно-винторезного станка и с помощью электромеханической обработки роликом 1 производят высадку восстанавливаемой поверхности (*физическая сущность электромеханической обработки изложена при рассмотрении упрочнения деталей*). В образовавшуюся при этом спиральную канавку укладывают стальную проволоку 3 соответствующего диаметра и сглаживают поверхности с помощью ролика 4. После сглаживания восстановленную поверхность механически обрабатывают (обтачивают, шлифуют) до нужного размера.

При высадке применяют ток силой 400–500 А при напряжении 2–4 В, при сглаживании – 1300–1500 А при том же напряжении. Такое повышение силы тока в сочетании с радиальным давлением инструмента обеспечивает сближение и сварку контактируемых поверхностей детали и добавочного металла (проволоки).



Восстановление посадок в неподвижных соединениях с применением *эластомера* ГЭН-150 (В). Применение эластомера ГЭН-150 (В) для восстановления посадок в неподвижных соединениях деталей судовых механизмов является весьма перспективным технологическим процессом, который должен найти широкое применение в судоремонте. Эластомер ГЭН-150 (В) представляет собой состав на основе смолы ВДУ и нитрильного каучука СКН-40.

Применение пленки эластомера в неподвижных соединениях при знакопеременной нагрузке увеличивает предел выносливости валов и осей на 40–75%, концентрация напряжений в соединениях снижается на 140–220%. Интенсивность коррозии и фреттинг-коррозии снижается в 10–20 раз, вибростойкость соединений – повышенная. Покрытые эластомером поверхности надежно защищены от различных видов коррозии. Имеется положительный опыт восстановления посадок подшипников качения судовых механизмов, посадки гребных винтов и др.

К *недостаткам эластомера* следует отнести повышение усилий распрессовки (в зависимости от натяга и обработки сопрягаемых деталей) соединений в 2–3 раза, которые могут быть уменьшены за счет покрытия пленки эластомера 5%-ным раствором силиконового каучука в толуоле, пастой дисульфида молибдена или 5%-ным раствором жидкости ГКЖ-94 в бензине.

Технология выполнения работ по восстановлению посадок в неподвижных соединениях судовых механизмов и оборудования включает следующие основные операции:

1. приготовление раствора эластомера;
2. подготовка поверхности к нанесению пленки;
3. нанесение пленки эластомера;
4. термическая обработка пленки;
5. сборка деталей.

Раствор приготавливают из мелко измельченного эластомера, который растворяют в ацетоне в определенных соотношениях, обеспечивающих требуемую вязкость раствора по вискозиметру ВЗ-4. Для восстановления неподвижных соединений обычно используется раствор с условной вязкостью 20 с (по вискозиметру ВЗ-4).

Поверхности деталей подготавливают для обеспечения адгезии эластомера к металлу – очищают металлической щеткой и наждачным полотном до металлического блеска (эта операция выполняется для корродированных поверхностей), затем протирают тампонами, смоченными бензином марки Б-70, либо ацетоном.

Эластомер можно наносить вручную (кистью), центробежным способом и напылением. Первый способ наиболее распространен как самый простой – эластомер наносят волосной кистью шириной 10–25 мм вдоль образующей цилиндрической поверхности параллельными рядами без перекрытия краев и образования просветов.

Для отверждения пленки эластомера ее термически обрабатывают в печах (без открытого огня), шкафах термостатов или при помощи индукционных нагревателей (выдерживают при температуре 100–120°C в течение 50–60 мин). В процессе термообработки не допускается наносить слой эластомера на нагретую деталь. Термообработку целесообразно совмещать с процессом нагрева деталей для напрессовки.

Детали, отремонтированные эластомером, должны собирать без усилий для того, чтобы предохранить пленки от возможных повреждений. Для этого охватывающую деталь нагревают до температуры 100–120° С. Если пленку эластомера необходимо удалить (например, при чрезмерном натяге и др.), то это можно сделать при помощи тампона, смоченного в ацетоне.

Допустимая наибольшая толщина пленки – 0,15 мм. При восстановлении деталей с большим износом рекомендуется приклеивание пластин эластомера; наибольшая толщина пластины 1,0 мм.

**Восстановление склеиванием.** Для восстановления целостности и герметичности при ремонте некоторых деталей (цилиндровых блоков, крышек цилиндров, клапанных коробок и т.д.) применяют синтетические клеи. Хорошо зарекомендовали себя клеи на основе эпоксидных, кремнийорганических, акриловых, полиэфирных и полиуретановых смол. Синтетические клеи обладают хорошей адгезией к металлам и хорошими антикоррозионными свойствами, но имеют низкую теплостойкость и склонны к старению. С помощью синтетических клеев присоединяют отломанные части деталей (проушины, лапы), ликвидируют трещины и коррозионные раковины, наносят антикоррозионные покрытия.

Отечественная промышленность выпускает эпоксидные смолы ЭД-5, ЭД-6, Э-40, ЭД-П, ЭА, ЭМДА, УП-610 и др. Фирма «Циба» (Швейцария) выпускает эпоксидные смолы Аральдит 6071, Аральдит 7072 и другие, фирма «Шелл» (США) – Эпикот 815, Эпикот 1001 и др.

Для приготовления эпоксидного клея используют эпоксидную смолу, отвердитель, пластификатор и различные наполнители. Клей приготавливают смешиванием компонентов непосредственно перед использованием, так как живучесть клея всего 45–60 мин. Сначала к эпоксидной смоле добавляют в нужном количестве отвердитель, после перемешивания (при необходимости) пластификатор и соответствующий наполнитель.

Приготовленный клей наносят на очищенные и обезжиренные поверхности, которые после небольшой выдержки соединяют при небольшом давлении или без давления. Далее следует выдержка до окончания процесса склеивания.

Различают эпоксидные клеи холодного и горячего отверждения. При холодном отверждении детали выдерживают до окончания процесса склеивания в течение 24 ч при нормальной температуре, при горячем отверждении – в течение 6–8 ч при температуре 120–150°С. Горячее отверждение обеспечивает клеевой шов повышенной твердости и прочности.

Состав эпоксидного клея (в массовых частях): холодного отверждения – эпоксидная смола – 100, отвердитель полиэтилен-полиамин – 6–10, горячего отверждения – эпоксидная смола – 100, отвердитель малеиновый ангидрид – 30.

Для придания клеевому шву или покрытию повышенной пластичности, твердости, внешнего вида, схожего с материалом ремонтируемой детали, в приготавливаемый клей добавляют пластификатор (дибутилфталат, трефенилфосфат и др.) в количестве 20–25% по массе и наполнители. В качестве наполнителя используют стеклоткань, асбестовое волокно, металлические опилки, молотый кварц и др.

**Клеи холодного отверждения.** Клей Л-4 типичный представитель группы клеев, являющихся композициями на основе смол ЭД-5, ЭД-6 или Э-40, пластифицированных дибутилфталатом; не относится к конструкционным клеящим материалам, так как его прочностные характеристики относительно невысоки. Применяют этот клей для заделки пороков в металлических деталях с соответствующими наполнителями.

Клей К-153 представляет собой композицию на основе смолы ЭД-5 и различных отвердителей. Клеевые соединения на клее К-153 устойчивы к действию атмосферных условий, топлив, минеральных масел и ацетона. Применяют его для склеивания стали, дюралюминия, соединения стеклотекстолита с алюминиевыми сплавами и т.д.

Клей ПЭД-Б составлен на основе смолы ЭД-5 с добавкой перхлорвиниловой смолы, хорошо склеивает винипласт и поливинилхлоридные пластикаты друг с другом, а также с дюралюминием, сталью, капроном, пенопластом и т. д.

**Клеи горячего отверждения.** Клей Д-2 применяют для склеивания черных и цветных металлов, керамики, стекла и других материалов, рабочая температура клеевых соединений  $+60^{\circ}\text{C}$ .

Клей ВК-32-ЭМ используют для склеивания металлов, пластмасс, теплостойких пенопластов, рабочая температура клеевых соединений  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ .

Клей Эпоксид Пр (пруток) и Эпоксид П (порошок) предназначены для склеивания металлов и неметаллических материалов (стекло, фарфор, керамика, пластические массы и т.д.). При склеивании металла его поверхность предварительно нагревают до  $100\text{--}120^{\circ}\text{C}$  и посыпают порошком или натирают прутом, при этом клей плавится и легко растекается по поверхности. Для склеивания больших поверхностей клей можно наносить путем горячего напыления.

Клей Аральдит 1 представляет собой композицию, содержащую эпоксидную смолу на основе дифенилолпропана и дициандиамида в качестве отвердителя. Клей используют для склеивания металлов и многих неметаллических материалов, выпускается он в виде прутков или порошка. Технология применения та же, что и для клея Эпоксид П и Пр.

Клей РМ-1000 выпускается в США в виде пленки или жидкого клея. Основное его назначение – склеивание силовых металлических конструкций. Пленку можно применять самостоятельно или в сочетании с жидким клеем, который используется в качестве подслоя.

Клей ПК-Ю представляет собой эпоксидную смолу, совмещенную с перхлорвиниловой смолой. Применяют его для приклеивания декоративно-облицовочных материалов (павинола и др.) к металлу и фанере.

Клей Эпазол ЕР-11 (ГДР) является двухкомпонентным клеем на основе эпоксидной смолы, характеризуется высокой склеивающей способностью. Его применяют для склеивания различных металлов, стекла, фарфора, древесины, кожи, слоистых пластиков и пластмасс.

Кроме клеев на основе эпоксидных смол, в судоремонте применяют также синтетические фенольные клеи БФ-2, БФ-4 и др. Применяют также клей ВК-2 на основе кремнийорганических смол, который позволяет повысить теплостойкость клеевых соединений до  $250\text{--}350^{\circ}\text{C}$ . Недостатком его является несколько меньшая прочность соединений на сдвиг.

Из *акриловых смол* в судоремонте применяют стиракрил технической марки ТШ (холодного отверждения), исходными материалами для приготовления которого служат следующие вещества (в массовых частях):

- сополимер метилметакрилата со стиролом (желтый или розовый порошок) – 100;
- метилметакрилат с 0,5% диметиланилина (бесцветная жидкость) – 50

*Стиракрил* используют в основном для восстановления герметичности, защиты от коррозии и для изготовления подшипниковых втулок, так как он обладает хорошими антифрикционными свойствами.

При ремонте изношенных корпусных конструкций судов (палубы, переборки и т. д.) применяют полиуретановые клеи «Спрут-5М-3», «Стык-2-15», разработанные Киевским институтом химии высокомолекулярных соединений АН УССР (ИХВС).

Клей «Спрут-5М-3» является конструкционным клеем. Им склеивают на воздухе металлы, стеклопластики, природные камни, бетон и другие материалы. Наличие на склеиваемых поверхностях загрязнений нефтепродуктами незначительно сказывается на прочности склеивания. Клей используют также в качестве водостойкого и коррозионностойкого покрытия, наносимого на открытом воздухе. Время отверждения – 0,5–5 ч (в зависимости от температуры воздуха). Клей состоит из основы – ненасыщенной поверхностно-активного вещества АТЖ-М и инициатора реакции перекиси метилэтилкетона. Для увеличения вязкости клеевой композиции добавляется аэросил АМ-1.

Клей «Стык-2-15» предназначен для склеивания резины, пластмассы, металла, асбоцемента, бетона, дерева. Он является однокомпонентным клеем холодного отверждения, состоящим из полиуретановой смолы и наполнителя – аэросила марок А-175, А-300 и А-380. Для сокращения времени отверждения вводят катализатор УП-606-2. Время отверждения: без катализатора – 3–5 сут, с катализатором – 2–3 ч.

Клеи «Спрут-5М-3» и «Стык-2-15» по сравнению с эпоксидными клеями обладают большей пластичностью, стойкостью к вибрации, более приемлемы для работы в среде с повышенной влажностью.

**Восстановление при помощи пластмасс.** Антикоррозионные и декоративные свойства деталей можно восстанавливать, нанося тонкослойные покрытия из полимеров путем газопламенного, вихревого и вибрационного напыления.

При газопламенном напылении смесь воздуха и порошка пластмассы пропускают через газовое пламя и направляют на поверхность детали. В результате постепенного осаждения расплавленных частиц пластмассы на детали образуется тонкий слой покрытия.

При вихревом способе предварительно нагретую деталь (до температуры на 30–40° С выше точки плавления пластмассы) погружают во взвихренный сжатым воздухом слой порошкообразной пластмассы. Частицы пластмассы, соприкасаясь с нагретой поверхностью детали, оплавляются и образуют на ней слой покрытия толщиной 0,8–1,0 мм.

При вибрационном способе нагретую деталь погружают в подвергаемый вибрации слой пластмассового порошка.

Перед нанесением пластмассы закругляют острые кромки, проводят дробеструйную обработку и промывают детали органическим растворителем

(ацетоном, авиационным бензином). После нанесения покрытия детали выдерживают в течение 3–5 с на воздухе, затем охлаждают в масле. Для покрытий применяют поделочный текстолит, гетинакс, стеклотекстолиты, стеклопласты и т. д.

Капроновое покрытие можно наносить на поверхности вращения деталей методом «втирания». Деталь устанавливают на токарно-винторезный станок и нагревают до температуры 200° С. В суппорт закрепляют капроновый карандаш (капроновый стержень в металлической трубке с винтом подачи). При вращении детали к ней подводят карандаш и сообщают ему продольную подачу. За счет тепла детали и тепла от трения карандаш оплавляється, и капроновое покрытие наносится на деталь.

Толщина покрытия определяется режимами процесса. Наилучшая адгезия покрытия с металлом достигается при толщине покрытия 0,14–0,16 мм при грубо обработанной металлической поверхности.

**Восстановление деформированием.** Деформирование применяют при ремонте деталей механизмов, устройств и элементов корпуса судна с целью восстановления первоначальной геометрической формы, а иногда – первоначальных размеров.

Для восстановления первоначальных размеров применяют раздачу и обжатие, используя специальные оправки (для раздачи) и кольца или втулки (для обжатия). Путем раздачи восстанавливают, например, первоначальные наружные размеры полых поршневых пальцев, путем обжатия – внутренние размеры подшипниковых втулок (их наружный диаметр в этом случае восстанавливают с помощью гальванопокрытий).

Для восстановления первоначальных геометрических форм применяют различные способы правки, наиболее распространены **механический, термический и термомеханический**. Правке чаще всего подвергают детали типа валов и листы наружной обшивки корпуса судна. Часто встречается правка лопастей гребных винтов.

Рассмотрим способы правки на примере валов. Механический и термический способы применяют в том случае, если напряжения в материале вала в результате изгиба не превышают предела текучести материала более чем на 15%. В противном случае, а также если материал вала содержит углерода более 0,45% и суммарное количество присадок более 2,5%, применяют термомеханический способ правки.

Возможность использовать механический способ правки валов без подогрева оговорена в Правилах Регистра.

Допускается правка валов диаметром до 200 мм в холодном состоянии в том случае, если стрелка прогиба не превышает 1 мм на 1 м длины вала.

**При механическом способе** вал, как правило, укладывают на две опоры выпуклостью вверх и к месту максимального изгиба прикладывают механическое усилие (обычно с помощью гидравлического домкрата), достаточное для ликвидации изгиба.

**К механическому способу относится правка наклепом**, довольно часто используемая при ремонте деталей механизмов. В этом случае участок вала наклепывают с вогнутой стороны по дуге 120°. Сжатые волокна вала (с вогнутой стороны) удлиняются, и вал выравнивается. Наклепывание производят специальным инструментом – чеканом, который может быть зажат в пневматический молоток. Ширина чекана составляет 15–40 мм, толщина – не более 10 мм. Рабочую ударную часть

выполняют по радиусу вала. При этом способе правки вал устанавливают на две опоры или в центры приспособления (токарно-винторезного станка).

**При термическом способе** в месте максимального изгиба вал обертывают мокрым асбестом. На выпуклой стороне вырезают окно размером по оси вала 30–40 мм, по окружности – 100–120°. Через окно вал быстро прогревают газовыми горелками до температуры 500–650° С. Когда дополнительный прогиб вала от нагрева достигнет 5–6-кратного значения первоначального прогиба, прогрев прекращают, окно закрывают сухим асбестом и дают валу остыть. При остывании нагретые волокна укорачиваются, и деформации устраняются. При необходимости правку повторяют.

**Термомеханический способ** правки применяют в тех случаях, когда другими способами выправить вал нельзя. Вал, как и при механической правке, укладывают на две опоры выпуклостью вверх. В месте максимального изгиба участок вала прогревают по всей окружности до температуры 800–850°С, затем с помощью гидравлического домкрата прикладывают соответствующее усилие для устранения деформации. Для того чтобы избежать перегиба вала, под него укладывают ограничительную стальную прокладку.

После правки валы и другие ответственные детали механизмов и устройств подвергают термической обработке (обычно отжигу) для снятия внутренних напряжений, возникающих во время изгиба и правки. При термическом способе правки для устранения деформаций элементов корпуса судна, выполненных из малоуглеродистых сталей, для ускорения применяют жесткие режимы охлаждения струей сжатого воздуха или водой.

**Восстановление подшипников, залитых антифрикционным материалом.** Для заливки подшипников используют баббиты марок Б88, Б83, Б83С и БН. Основой баббитов Б88, Б83 и Б83С является олово (соответственно 88 и 83%), баббита БН – свинец. Специфические составляющие у баббитов Б88 и БН кадмий и никель, а у баббита Б83С свинец, баббит БН, кроме того, содержит присадку мышьяка.

Баббит Б88 используют для заливки наиболее нагруженных подшипников (нижние половины крейцкопфных подшипников в мало- и среднеоборотных дизелях и др.), баббит БН – наименее нагруженных. На баббитовый слой нижних половин крейцкопфных подшипников после окончательной обработки и пригонки электролитическим методом наносят приработочное покрытие толщиной 0,04–0,05 мм из свинцово-оловянистого сплава (90% свинца и 10% олова).

Для заливки подшипников быстроходных дизелей применяют свинцовистую бронзу БрСЗО.

Подшипники выполняют также из оловянистых и алюминиевых бронз (Бр ОФ10-1, БрОЦЮ-2, БрАМц9-2), кремнистых и марганцовистых латуней (ЛК80-3, ЛМц58-2) и других сплавов.

Если бронзовые и латунные подшипники обычно заменяют или наплавляют по рабочей поверхности тем же материалом, из которого изготовлен подшипник, то подшипники, имеющие заливку антифрикционным материалом, обычно перезаливают. В этом случае ремонт подшипников выполняют в следующей последовательности.

1. Выплавляют из вкладышей старый антифрикционный металл, используя электрические печи, газовые горелки и другие нагревательные устройства.

2. Раздают вкладыши в плоскости разъема для того, чтобы сохранить прежнюю посадку вкладыша в постели и обеспечить припуск на пригонку (при заливке в литейной корке залитого антифрикционного металла возникают значительные усадочные напряжения, стягивающие вкладыши и способные вызвать не только упругую, но и остаточную деформацию). Величина раздачи, мм,

$$\Delta D = 0,16 D/b \quad (1.46)$$

где  $D$  – наружный диаметр вкладыша, мм;  
 $b$  – толщина стенки вкладыша с заливкой, мм.

Если вкладыши не имеют в разъеме прокладок (например, у турбин), наплавляют металл на одну или обе стороны разъема для того, чтобы в результате последующей пригонки вкладыша по постели его разъем не оказался ниже разъема постели. Наплавленные разъемы предварительно фрезеруют.

Подготавливают вкладыши под заливку (внутренние поверхности зачищают, обезжиривают, травят и лудят), затем вкладыши собирают и заливают.

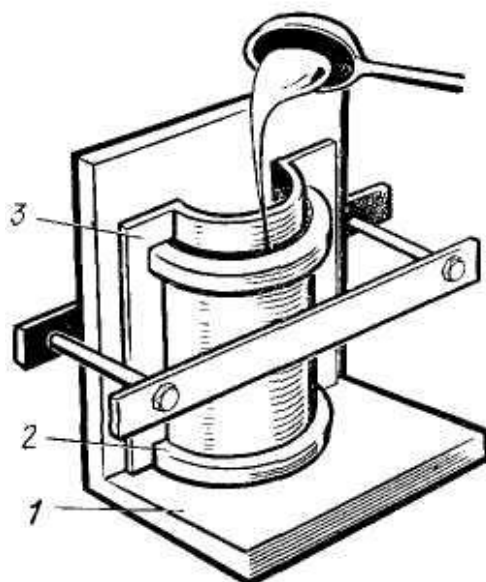
Для снятия стягивающих напряжений предварительно вкладыши растачивают с припуском 1–2 мм на окончательную расточку. Пригоняют вкладыши по постелям и размечают для окончательного фрезерования разъемов.

Окончательно растачивают вкладыши с припуском на пригонку по шейке вала, растачивают масляные карманы, фрезеруют масляные канавки, окончательно фрезеруют разъемы. Пригоняют вкладыши по шейке вала, устанавливают масляный зазор, собирают подшипники.

На СРЗ применяют следующие способы заливки вкладышей подшипников:

- статический (ручной),
- вибрационный,
- центробежный,
- под давлением.

Статическую заливку широко применяют для вкладышей больших размеров, подшипников сложной конфигурации и ползунов (рисунок 1.51).



1 – угольник; 2 – вкладыш; 3 – шаблон

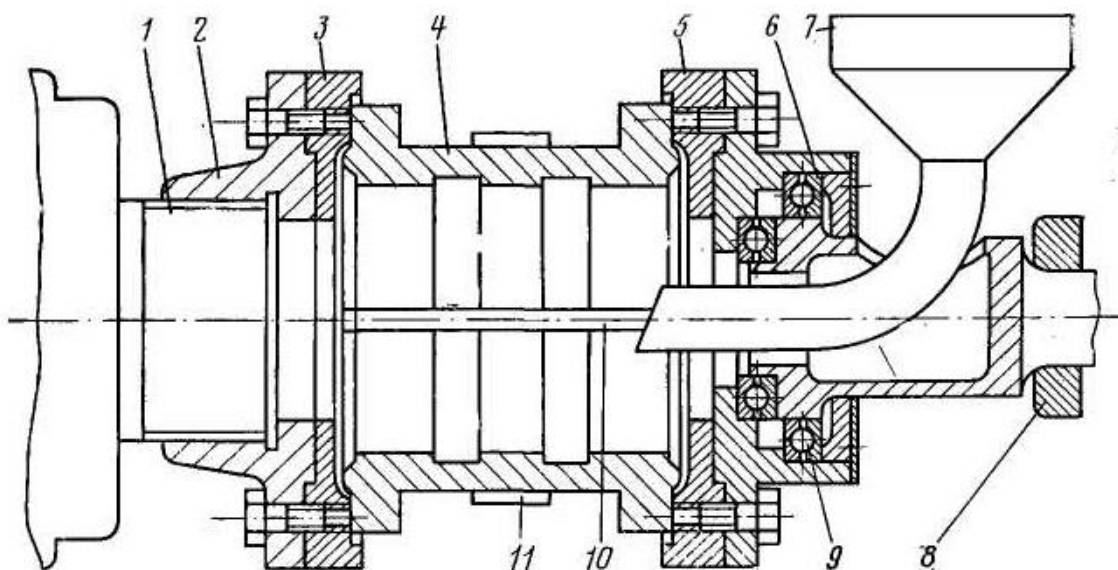
Рисунок 1.51 – Ручная заливка подшипников баббитом

Вкладыш 2, собранный с шаблоном 3, устанавливают на плиту или специальный угольник 1, уплотняют стыки огнеупорной глиной и асбестом, подогревают вкладыш до температуры 250–300° С, расплавляют баббит и заливают его вручную в зазор, образованный шаблоном и внутренней поверхностью вкладыша. При заливке баббит перемешивают стальным прутком для облегчения выхода литейным газам и обеспечения этим плотной, качественной заливки.

**Сущность вибрационной заливки** заключается в том, что собранный вкладыш устанавливают на вибрационный стол, где его и заливают. Вибрационный стол имеет вертикальные колебания с амплитудой 1,5 мм и частотой 1400 кол/мин. Качество заливки при этом получается более высокое (по отношению к статической) за счет создания лучших условий для выхода литейных газов при вибрации.

**При центробежной заливке** (рисунок 1.52) между половинками вкладышей 4 устанавливают асбестовую прокладку 10 и соединяют их бандажом 11. Вкладыши закрепляют специальными фланцами 3 и 5 на планшайбе 2 шпинделем 1 и задней бабкой 8 токарного или специализированного станка. В отверстие сборного фланца 5, внутри которого находятся шарикоподшипники 6 и 9, заводят воронку 7, пускают станок и через воронку внутрь вращающихся вкладышей подают порцию расплавленного баббита. В результате действия центробежных сил баббит ровным слоем распределяется по внутренней поверхности вкладышей и затвердевает. Чем быстрее вращаются вкладыши, тем плотнее и равномернее ложится баббит, тем меньше раковин и неплотностей в антифрикционном слое. Однако при чрезмерно большой частоте вращения существенно проявляется ликвация (неравномерное распределение составляющих баббита по толщине залитого слоя), т.е. на внутренней поверхности оказываются более легкие составляющие (олово), а на периферии – более тяжелые (медь, сурьма). Для снижения явления ликвации применяют быстрое охлаждение вкладышей (сразу же после заливки) водяной пылью, подающейся через сопла сжатым воздухом.





1 – шпиндель; 2 – планшайба; 3, 5 – фланцы; 4 – вкладыши; 6, 9 – шарикоподшипники;  
7 – воронка; 8 – задняя бабка; 10 – асбестовая прокладка; 11 – бандаж

**Рисунок 1.52 – Приспособление к токарному станку для центробежной заливки подшипников**

**Оптимальная частота вращения, об/мин, при заливке:**

$$n = \frac{K}{\sqrt{r}} \quad (1.47)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от свойств антифрикционного сплава (для высокооловянистых баббитов  $K = 1400–1800$ , для свинцовистых  $K = 1700–K\ 1900$ );

$r$  – внутренний радиус заливаемого подшипника, см.

**Центробежная заливка** имеет преимущества перед остальными способами. Слой заливки получается плотным, без пор и раковин, так как давление, развиваемое центробежными силами, способствует активному выделению литейных газов из слоя заливаемого металла. Залитый слой имеет мелкозернистую структуру вследствие быстрого охлаждения и перемешивания баббита в момент застывания. Сокращаются припуски на механическую обработку.

Для **заливки под давлением** вылуженный подшипник собирают в специальное приспособление, имеющее плунжерную пару для создания давления. Приспособление предварительно подогревают до температуры  $180–200^\circ\text{C}$ . После заливки плунжерной парой поднимают давление и поддерживают его в течение  $30–60$  с до затвердевания баббита. После заливки через  $5–6$  с включают воздушно-водяное охлаждение подшипника, которое осуществляют с помощью пульверизатора. Охлаждение начинают с верхней части подшипника и отключают его после снижения температуры до  $150^\circ\text{C}$ .

Залитые подшипники принимает представитель Отдела технического контроля по результатам проверки химического анализа, твердости и микроструктуры баббита, а также контроля качества сцепления – приставания, обмера и наружного осмотра вкладыша и заливки.

Если подшипники имеют дефекты в виде отдельных небольших трещин и выкрашиваний, а сцепление антифрикционного металла с материалом вкладыша хорошее, практикуют ремонт с применением наплавки антифрикционного слоя.

Используют следующие технологические методы наплавки баббитом дефектных участков антифрикционного слоя:

1. газопламенный (ацетилено-кислородный, водородно-воздушный (кислородный), пропан-бутан-кислородный);
2. аргонодуговой; 3. угольный (графитовый).

Все газопламенные методы применяют в заводских условиях, выполняют их сварщики, прошедшие специальное обучение. При наплавке используют инжекторные газовые горелки, например, типа СУ с наконечниками № 1, 2. Вкладыш устанавливают в приспособление, позволяющее поворачивать его в нужное положение. Наплавку ведут восстановительным пламенем при положении сопла горелки не ближе 10–15 мм от поверхности расплавленного металла. Выполняют наплавку в нижнем положении в один или несколько проходов в зависимости от толщины наплавляемого слоя валиками высотой 2–3 мм и шириной 5–8 мм.

Таким способом не только устраняют отдельные дефекты, но и при небольших износах наплавляют всю внутреннюю поверхность вкладыша. При этом валики наплавляют по образующим, соответственно поворачивая вкладыш (чтобы валики все время оказывались в нижнем положении). Общее направление валиков – от середины к краям. Присадочные прутки диаметром 6–8 мм отливают из того металла, которым залит подшипник.

Для выполнения аргонодуговой наплавки используют обычное оборудование для аргонодуговой сварки.

Наплавку угольным (графитовым) электродом применяют как в заводских, так и в судовых условиях. Используют оборудование для электросварки на постоянном или переменном токе с жесткой либо пологопадающей внешней вольтамперной характеристикой, обеспечивающей замыкание и размыкание электрода при наплавке без возбуждения дуги. Употребляют угольные электроды диаметром 12–20 мм или графитовые диаметром 10–16 мм.

### ***1.6.2 Упрочнение деталей***

#### **Факторы, определяющие упрочнение металла.**

Большая часть деталей и самих судовых механизмов (около 90%) выходят из строя вследствие физического износа и усталостных разрушений.

Повышение срока безотказной работы механизмов – одна из основных проблем машиностроения.

При работе механизмов вследствие истирания, теплового и химического воздействия и других факторов изменяются первоначальные размеры и форма деталей. В процессе длительного механического, теплового и химического воздействий прежде всего в поверхностных слоях деталей нарушаются физико-механические свойства металла, что приводит к повышению износа и нарушению работоспособности отдельных сопряжений и узлов механизма.

Основной причиной разрушения деталей, работающих в условиях циклического нагружения, является усталость металла. Усталостное разрушение наступает при напряжениях, значения которых меньше пределов текучести и прочности металла. Причем в период, предшествующий разрушению, не наблюдается сколько-нибудь заметных нарушений металла. Лишь перед самой поломкой в детали образуются трещины усталости, вызывающие хрупкое, почти мгновенное ее разрушение.

Усталостное разрушение начинается главным образом с поверхностного слоя. Поэтому предел выносливости в отличие от других прочностных характеристик (пределов упругости, текучести, прочности) во многом зависит от состояния поверхности детали. Некачественная механическая обработка (мелкие трещины на поверхности, надрезы, риски) резко снижает усталостную прочность детали.

Дефекты поверхности, становясь в процессе циклического нагружения концентраторами напряжений, образуют очаги возникновения усталостных трещин, которые, разрастаясь, приводят к разрушению детали. Следовательно, улучшение микрогеометрии поверхности, ее упрочнение способствуют прежде всего увеличению усталостной прочности всей детали. Именно на этой основе возникли различные методы упрочнения.

**Упрочнение** – это преднамеренное искажение кристаллической решетки металла в результате механического воздействия, термической или термохимической обработки, легирования и т. д.

Механизм пластической деформации и процессы, протекающие при этом, зависят не только от строения и свойств металла, но также от температуры и скорости деформации. При упрочняющей обработке металлов давлением наибольший практический и теоретический интерес представляет явление упрочнения, сопровождающее холодную пластическую деформацию.

Из всех современных теорий, объясняющих природу пластической деформации и упрочнения металлов, общепризнанной и наиболее достоверной является дислокационная. Кристалл в исходном состоянии содержит большое число дислокаций, расположенных в виде пространственной сетки. Пластическая деформация представляется как процесс образования новых дислокаций и их движения по кристаллу.

Упрочнение происходит в результате упругого взаимодействия дислокаций, особенно при сравнительно небольших степенях деформации (20–30%). Твердость металла при этом возрастает приблизительно в 2 раза. Дальнейшая деформация сопровождается меньшей интенсивностью упрочнения. При упрочнении создается гонкая структура металла с большим количеством искажений кристаллической решетки, задерживающих движение дислокаций и способствующих увеличению числа участков, где одновременно развивается пластическая деформация.

Различные металлы в разной степени подвергаются пластической деформации и упрочнению. Металлы, у которых большая разность между пределом прочности и пределом текучести, допускают большие пластические деформации и большее упрочнение. Металлы, у которых разность между пределом прочности и пределом текучести небольшая, пластически почти не деформируются и при попытке деформирования хрупко разрушаются.

При упрочнении повышается предел прочности металла и уменьшается разность между пределом прочности и пределом текучести. Повышение содержания углерода в стали способствует наращиванию дислокаций, в связи с чем увеличивается число атомов, одновременно участвующих в сопротивлении деформации, и возрастает прочность металла.

Дальнейшего усиления прочности стали достигают путем улучшения свойств кристаллов в микрообъемах, например, легированием. При легировании повышается прочность сплава вследствие более эффективного использования межатомных связей (например, мартенситных сталей) и увеличения самой прочности межатомных связей (например, при легировании железа хромом).

Проблема повышения надежности судовых механизмов особенно актуальна в связи с созданием новых типов, работающих на высоких параметрах и нагрузках.

#### **Классификация методов упрочнения.**

По физической сущности и технологии исполнения *методы упрочнения металлических деталей судовых механизмов классифицируют на:*

1. термические;
2. термохимические;
3. механические;
4. термомеханические;
5. электромеханические;
6. электроискровые и др.

Перечисленные методы применяют в первую очередь для повышения прочностных характеристик наиболее нагруженных, ответственных деталей судовых механизмов (валов, штоков, шестерен и т.д.), выполненных из углеродистых и легированных сталей. Термохимические и механические методы применяют также для упрочнения чугуновых деталей, работающих на истирание (втулок цилиндров, направляющих втулок клапанов).

Упрочнение может быть общим (по всему сечению детали) и поверхностным. Общее упрочнение обеспечивается термической обработкой (закалкой, улучшением), иногда механической (объемной пластической деформацией). Поверхностное упрочнение можно производить любым методом.

Для упрочнения тяжело нагруженных деталей наиболее целесообразным является сочетание термического и поверхностного механического методов упрочнения. Например, при упрочнении коленчатых валов тяжело нагруженных двигателей вначале производят общее упрочнение (закалку), а затем – поверхностное упрочнение рабочих шеек (пластическую деформацию – накатку).

Выбор метода упрочнения требует тщательного анализа условий работы детали, учета характера напряженного состояния и остаточных напряжений, учета типов концентраторов напряжений, экономической целесообразности.

#### **Термическое и термохимическое упрочнения**

К **термическим методам** относят закалку, улучшение и обработку холодом. После закалки детали для уменьшения хрупкости и снятия закалочных напряжений производят отпуск, температуру которого определяют в зависимости от того, какие

свойства требуется обеспечить. Для уменьшения объемных изменений и коробления применяют ступенчатую и изотермическую закалку. Вакуумная закалка и отжиг позволяют получать металл более высокого качества.

Для повышения прочностных характеристик поверхностных слоев и износостойкости детали применяют поверхностную закалку на глубину 2–4 мм. Поверхность детали быстро нагревают до температуры выше критической точки  $A_c$  (для аустенизации) и быстро охлаждают со скоростью выше критической для получения мартенсита. Для нагрева при поверхностной закалке применяют токи высокой частоты и специальные газопламенные горелки (при закалке крупных деталей).

Обработку холодом применяют для уменьшения количества остаточного аустенита в закаленной легированной стали, содержащей более 0,4–0,5% углерода, так как остаточный аустенит снижает твердость и износостойкость. Обработка холодом стабилизирует также размеры деталей, что особенно важно для деталей прецизионных пар (плунжерные пары топливных насосов).

При обработке холодом деталь медленно охлаждают до температуры окончания мартенситного превращения – минус 30–70° С. Обработку холодом выполняют сразу после закалки, затем производят отпуск. Для охлаждения деталей обычно используют жидкий азот.

Новый способ термической обработки деталей с применением холода разработан канд. техн. наук Е. С. Жмуть, после которого износостойкость (по отношению к обычной закалке) повышается в несколько десятков раз. Деталь, нагретую до температуры закалки, охлаждают в жидком азоте.

Для придания поверхностным слоям деталей специальных свойств (повышенной износостойкости, окалиностойкости и т. д.) применяют **термохимические методы обработки:**

1. цементацию (науглероживание) с последующей закалкой;
2. азотирование;
3. цианирование (насыщение углеродом и азотом) с последующей закалкой;
4. сульфидирование (насыщение серой);
5. борирование (насыщение бором) и др.

Насыщение производят на глубину 0,3–0,9 мм путем выдержки нагретой детали (в среднем до температуры 500–600° С) в соответствующей среде в течение определенного времени (нескольких часов).

Успешно применяют **комплексные термохимические методы обработки деталей:**

1. сульфацианирование;
2. хромосилицирование (насыщение хромом и кремнием);
3. боросилицирование;
4. карбоборирование (насыщение углеродом и бором);
5. хромоазотирование и др.

Все комплексные покрытия такого рода характеризуются большой поверхностной твердостью и высокой износостойкостью в разнообразных условиях. Комплексные насыщения в различном сочетании и последовательности позволяют создать

износостойкую поверхность с высокой окалиностойкостью, коррозионной стойкостью и жаропрочностью.

В промышленности применяют ионную термохимическую обработку и обработку энерговывделяющими пастами. Из химии известно, что наибольшую активность газы проявляют в ионизированном состоянии. На этом основаны новые ускоренные методы термохимической обработки: ионное азотирование, ионная цементация, ионное хромирование и т.д.

Ионную термохимическую обработку производят в герметически закрытой камере в атмосфере тлеющего дугового или искрового разряда. Например, при ионном азотировании деталь помещают в камеру, из которой вакуумным насосом откачивают воздух. Камеру заполняют газообразным аммиаком и производят электрический разряд. Электроды служат анодом, а азотируемая деталь – катодом. Аммиак диссоциирует, распадаясь на ионы азота и водорода. Электрическое поле разгоняет их до 50 эВ, ионы начинают бомбардировать поверхность детали, и азот быстро насыщает поверхностные слои.

При термохимической обработке энерговывделяющими пастами деталь намазывают этой пастой, которую поджигают. При горении пасты деталь сильно разогревается (на поверхности до 600–800°C), а легирующие элементы, содержащиеся в пасте, проникают в верхние слои детали. Через 2–3 мин обгоревшую деталь погружают в воду для охлаждения.

В качестве энерговывделяющих компонентов в пасте используют смеси кислородосодержащих веществ с порошками алюминия, магния, кальция и других металлов. В пасту вводят также диффузионно-активное вещество, которое при нагреве выделяет легирующий элемент. Для получения требуемой консистенции в пасту добавляют связующее вещество.

С помощью энерговывделяющих паст производят алитирование, борирование, карбонитрирование и другие виды термохимической обработки, возможные в судовых условиях.

### **Термо- и электромагнитная обработки.**

Хорошие результаты дает сочетание закалки с действием магнитного поля, т.е. **термомагнитная обработка**. В момент закалки, когда происходят аустенитно-мартенситные превращения, на деталь воздействуют магнитным полем. Кристаллы мартенсита принимают одну ориентацию во всех зернах, и прочность стали после такой обработки повышается. Термомагнитную обработку можно осуществить различными способами. Например, деталь нагревают постоянным током до температуры закалки, а затем, не выключая тока, охлаждают жидкостью или воздухом.

**Электромагнитная обработка** заключается в том, что поверхность обрабатываемой детали легируется ферромагнитными порошками (ферробромом, ферросилицием, ферромарганцем) в магнитном поле с наложением электрического потенциала. Магнитное поле создает мост из частиц ферромагнитного порошка между поверхностью обрабатываемой детали и электродом, которым является сердечник

электромагнита. Электрический ток, проходя через этот мост, выделяет большое количество тепла – происходит расплавление ферромагнитного порошка на поверхности обрабатываемой детали. Поверхность детали при этом диффузионно легируется и на ней образуется слой, обладающий высокими физико-механическими свойствами: твердостью, износостойкостью, прочностью и химической стойкостью. Одновременно с этим из-за быстрого отвода тепла вглубь основного металла поверхностный слой высокоуглеродистых сталей закаливается.

### Механическое упрочнение.

**К механическим методам упрочнения относят:**

1. обкатку (раскатку) шариком или роликом;
2. протяжку;
3. дробеструйную обработку;
4. гидроструйную обработку;
5. упрочнение взрывом;
6. объемное пластическое деформирование;
7. упрочнение полиморфической трансформацией висмута и др.

Первые пять перечисленных методов применяют для поверхностного упрочнения деталей, а два остальных – для общего упрочнения.

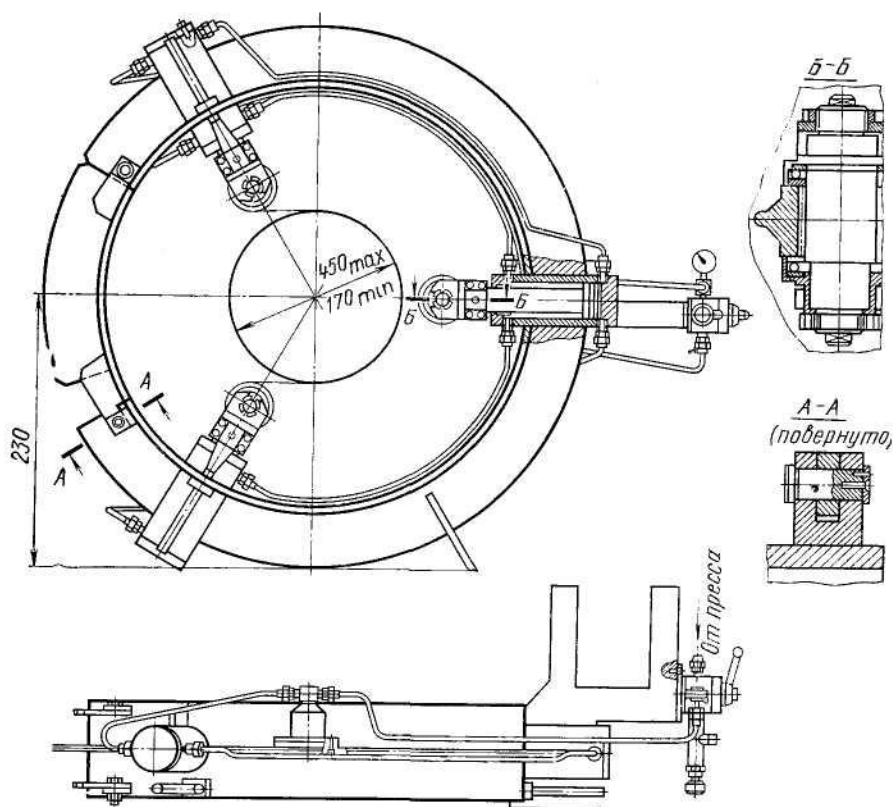


Рисунок 1.53 – Трехроликовое приспособление для обработки деталей

**Обкатке (раскатке)** обычно подвергают поверхности вращения деталей (рабочие шейки валов, поверхности втулок цилиндров и др.). Иногда обкатывают и плоские поверхности. При обкатке одновременно с упрочнением уменьшается шероховатость поверхности. Для обкатки используют специальные приспособления, оснащенные закаленными шариками, которые прижимаются к обрабатываемой поверхности с помощью пружин или гидравлики. При обкатывании шеек валов большого диаметра с большим радиальным усилием применяют трехроλικое приспособление (рисунок 1.53), что исключает деформацию детали и разгружает суппорт и ходовой винт станка.

Очень важно при обкатывании выбрать режим, который должен обеспечить повышение исходной поверхностной твердости на 25–40% и соответствующую глубину наклепанного слоя.

Усилие, создающее наклепанный слой глубиной в 0,05 радиуса упрочняемой шейки,

$$P_n = 12,5\sigma_s(D/100)^2 \quad (1.48)$$

где  $\sigma_s$  – предел текучести материала, Па;

$D$  – диаметр упрочняемой шейки, м.

**Усилие обкатывания  $P$**  рекомендуется выбирать в пределах  $(1,5–3) P_n$ .

**Глубина  $b$  наклепанного (упрочненного) слоя** в зависимости от усилия обкатывания

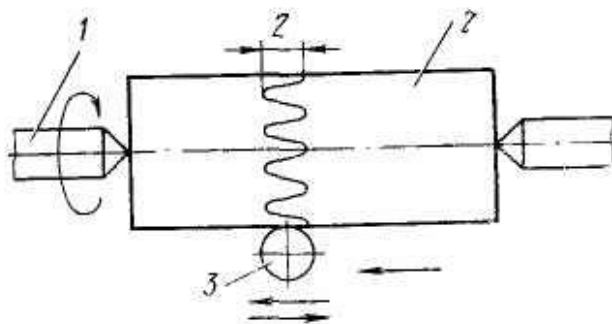
$$b = \sqrt{P/2\sigma_s} \quad (1.49)$$

Поверхности вращения обкатывают за один проход при продольной подаче шарика или ролика 0,2–0,5 мм и скорости накатывания 30–35 м/мин.

**Виброобкатывание** по сравнению с обычным дает более высокую твердость и большую глубину наклепа. В центрах 1 (рисунок 1.54) токарно-винторезного станка закрепляют деталь 2. Шарик 3, кроме продольных, совершает дополнительные колебательные (осциллирующие) движения параллельно оси вращения детали 2 в плоскости, проходящей через ось вращения. При этом число двойных ходов шарика достигает 2600 в минуту, амплитуда колебания – 2 мм.

При виброобкатывании галтелей коленчатых валов применяют инструмент, совершающий колебания в направлении, перпендикулярном к оси вращения детали.





1 – центра; 2 – деталь; 3 – шарик

**Рисунок 1.54 – Виброобкатывание**

Процесс упрочнения значительно интенсифицируется при наложении на деформирующий элемент (ролик) колебаний ультразвуковой частоты, направляемых перпендикулярно обрабатываемой поверхности. Такое ультразвуковое виброобкатывание позволяет при весьма малых статических усилиях обкатывания обеспечить высокую степень упрочнения. Снижению усилия в данном случае способствует высокая температура процесса, достигающая на поверхности детали в месте контакта с инструментом (роликом или шариком)  $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$ . Таким образом, сущность ультразвукового виброобкатывания заключается в термопластическом деформировании материала поверхностного слоя детали роликом (или шариком), вибрирующим с частотой  $18\text{--}25\text{ кГц}$ .

Для создания колебаний ультразвуковой частоты используют генератор, который подает импульсы на магнитострикционный вибратор, связанный с деформирующим элементом посредством трансформатора амплитуды, позволяющего увеличивать амплитуду колебаний.

Особенно эффективно ультразвуковое виброобкатывание при упрочнении закаленных сталей и чугунов, так как использование в этих случаях обычных методов упрочняющего обкатывания связано с созданием высоких контактных давлений. А у чугунов при этом контактное давление необходимо выдерживать в весьма узких пределах.

Виброобкатывание используют также для оптимизации микрорельефа рабочих поверхностей деталей механизмов.

Микрорельеф рабочих поверхностей деталей во многом определяет эксплуатационные свойства механизмов. До последнего времени в соответствии со стандартом конструктором регламентировались лишь высотные параметры шероховатости, одинаково оценивавшие различные по форме, расположению и степени однородности микронеровностей поверхности. Новые стандарты дополняют стандартизованные параметры шероховатости поверхности такими, как шаг микронеровностей, относительная опорная длина профиля, направление микронеровностей. Для придания поверхности особых свойств конструкторами нормируются и другие параметры (угол наклона микронеровностей, радиусы скругления вершин и впадин и др.). Традиционными способами обработки, основанными на резании, перечисленные требования к микрорельефу поверхности обеспечить невозможно. На помощь приходит чистовая обработка виброобкатыванием.

Виброобкатыванием можно создать поверхности с пересекающимися и непересекающимися канавками, гексагональный и тетрагональный рельеф. Такие поверхности хорошо удерживают смазочный материал, улучшают эксплуатационные свойства рабочих поверхностей деталей (снижают коэффициент трения и износ), улучшается прирабатываемость. Варьируя параметрами микрорельефа (изменяя длину профиля, угол наклона микронеровностей, радиус скругления их вершин и впадин и т. д.), с помощью виброобкатывания возможно решать задачи повышения у деталей

Усталостной прочности, сопротивления коррозионному износу, ползучести и др.

При упрочнении поверхностей небольших отверстий применяют дорны, протяжки и шарики.

Дробеструйная обработка заключается в том, что на предварительно механически и термически обработанную поверхность детали с большой скоростью направляют поток стальной или чугунной дроби диаметром 0,5–1,5 мм. При выборе размера дроби учитывают, что с уменьшением ее диаметра улучшается шероховатость поверхности, а с увеличением – повышается глубина упрочненного слоя. Дробь направляется на упрочняемую поверхность сжатым воздухом, либо отбрасывается лопатками вращающегося колеса.

При гидроструйной обработке на упрочняемую поверхность подается через сопло под большим давлением (400–600 атм) струя воды. Гидроструйной обработке подвергают детали, прошедшие окончательную механическую обработку. Водяная струя позволяет упрочнять поверхности сложной конфигурации с пазами, отверстиями, внутренними полостями и т.д.

**Упрочнение взрывом** осуществляют двумя способами:

- ударом твердого тела (пластины), движущегося под воздействием взрывной волны;
- воздействием взрывной ударной волны на поверхность детали (контактный способ). Ударом твердого тела упрочняют плоские поверхности.

Объемное пластическое деформирование производят обычно скручиванием заготовки на небольшой угол (как перед термической обработкой, так и после нее). Этот метод упрочнения используют для повышения механических свойств таких деталей, как пружины, карданные и торсионные валы, ответственные болты, шпильки и др. Причем, прочностные характеристики материала не снижаются и тогда, когда на детали вытачивают поперечные канавки, нарезают резьбу, простругивают пазы и т. д.

Упрочнение полиморфической трансформацией висмута относится, по существу, тоже к объемным методам упрочнения. Суть этого способа заключается в обжатии детали большим давлением – упрочнение происходит по всему объему. При этом значительно возрастает предел усталости, уменьшается ползучесть металла при высоких нагрузках и температурах.

Упрочнение производят следующим образом. Деталь укладывают в металлический ящик и заливают легкоплавким висмутовым сплавом. Ящик устанавливают в камеру гидрокомпрессора высокого давления и поднимают давление до 2500 атм. Висмут при этом претерпевает полиморфическую трансформацию, мгновенно уменьшаясь в объеме почти на 0,1. Так как при высоком давлении висмут ведет себя как жидкость, его усадка – это сильный гидравлический удар,

сопровождающийся резким скачком давления до 12 500 Атм. Деталь под действием такого давления равномерно обжимается, упрочняясь и почти не меняя своих размеров.

Интересно отметить, что перестройка кристаллической решетки висмута при трансформации – эффект обратимый. Стоит давление снять, как атомы снова занимают свое прежнее положение.

Вместо висмута для этой цели можно использовать церий, который трансформируется уже при 760 атм. Достоинство этого способа – можно упрочнять детали из хрупких материалов (чугуна, бронзы) и сложной конфигурации с различными выступами, отрезками и т.д. Кроме того, под большим давлением деталь можно выдерживать очень долго (сутками, если необходимо), при других методах – в течение лишь нескольких секунд.

**Термомеханическое упрочнение.** Этот эффективный метод упрочнения позволяет повысить механические свойства стали по сравнению с полученными при обычной закалке с отпуском. В данной обработке сочетается пластическая деформация стали в аустенитном состоянии с ее закалкой и последующим низкотемпературным отпуском. Различают два основных способа термомеханической обработки: высоко- и низкотемпературная.

При высокотемпературной обработке сталь пластически деформируют, т.е. накатывают роликом при высокой температуре (выше точки  $A_{c3}$ ), при которой она имеет устойчивую аустенитную структуру, степень деформации 20–30%; при низкотемпературной – в температурной зоне существования переохлажденного аустенита (ниже интервала температур рекристаллизации, но выше точки  $M_n$ ), степень деформации 75–90%.

Термомеханическая обработка позволяет в некоторых сталях получить высокую прочность при хорошей пластичности и вязкости. Наибольшее упрочнение достигают при деформации переохлажденного аустенита, т. е. при низкотемпературной обработке. Деформация в области высоких температур не приводит к столь высокому повышению предела прочности, однако обеспечивает большой запас пластичности и поэтому лучшую конструкционную прочность. Кроме того, так как здесь деформация протекает при меньших усилиях, высокотемпературная обработка является более технологичной операцией.

Прочность при термомеханической обработке повышается вследствие измельчения блочной структуры и, следовательно, увеличения плотности дислокаций. Размеры блоков (по сравнению с обычной закалкой) уменьшаются в 2–4 раза. Одновременно измельчаются и пластины (иглы) мартенсита, образующиеся в деформированной зоне аустенита. Их линейные размеры меньше обычных в 2–3 раза.

**Электромеханическое упрочнение.** Для поверхностного упрочнения на глубину до 0,2–0,3 мм применяют электромеханическую обработку. При этом износостойкость повышается до 11 раз, усталостная прочность – в 2–6 раз. Кроме того, можно обрабатывать поверхность стальной детали с низкой шероховатостью, а также при соблюдении определенных условий (специальная заправка резца, режим обработки) восстанавливать размеры деталей (до нескольких сотых миллиметра).

Суть электромеханической обработки заключается в следующем. Обрабатываемую деталь устанавливают в патрон токарно-винторезного станка и в зону

контакта детали и инструмента, оснащенного твердосплавной пластиной, при вращении детали и перемещении инструмента подводят электрический ток силой 350–1300 А, напряжением 2–6 В (от понижающего трансформатора из сети 220/380 В). Вместо резца можно применять сглаживающий ролик. Инструмент от станка изолируют.

В связи с тем, что в месте контакта (из-за малой его площади) возникает большое сопротивление, выделяется значительная тепловая энергия, которая мгновенно нагревает зону контакта до высокой температуры (температуры закалки). Поверхность детали, подвергаясь в месте контакта высокотемпературному нагреву и действию радиального усилия инструмента, в общем случае сглаживается (может высаживаться при специальной заправке резца). Объем зоны высокотемпературного нагрева очень мал по отношению к объему детали, поэтому поверхностный слой быстро охлаждается за счет отвода тепла внутрь детали. В итоге получается эффект поверхностной закалки на глубину 0,2–0,3 мм с одновременным поверхностным наклепом, значительно повышающим износостойчивость и усталостную прочность детали.

**Электроискровое упрочнение.** Обработка основана на ударном воздействии направленного искрового электрического разряда, вызывающего взрыв металла на обрабатываемой поверхности в точке приложения импульса. Между электродом из твердого сплава (например, стеллита), закрепленным в приборе-вибраторе, и упрочняемой поверхностью под действием пульсирующего электрического тока возникает искровой разряд, в результате чего металл с электрода переносится на катод (деталь), и обрабатываемая поверхность детали упрочняется.

### ***1.6.3 Использование эффекта избирательного переноса***

Эффект избирательного переноса применяют для повышения долговечности узлов трения. Наибольшая износостойкость проявляется тогда, когда упругое деформирование микровыступов сочетается с разрушением адгезионных связей в тонком поверхностном слое. Это возможно при образовании на поверхности трения слоя менее прочного, чем основной материал, но обеспечивающего хорошее прилипание – адгезию с последним. Подобный эффект может быть достигнут нанесением на основную поверхность слоя более мягкого, пластичного материала или образованием такого слоя в результате взаимодействия смазки с основным материалом. Первый путь осуществляется нанесением приработочных покрытий, второй – реализуется в избирательном переносе.

Применение приработочных покрытий ограничено. При условии высокой адгезии они способствуют пластифицированию поверхностного слоя малопластичных металлических сплавов. В результате их податливости уже в первый момент увеличивается площадь действительного контакта. Процесс приработки существенно облегчается и ускоряется. Приработочные покрытия препятствуют образованию сильных адгезионных связей и глубинному вырыванию.

Избирательный перенос имеет принципиально другую физико-химическую сущность. Он состоит из ряда электрохимических и электрофизических процессов, в ходе которых избирательное растворение материала, вызываемое смазкой, сменяется образованием продуктов взаимодействия и их переносом.

Как показывают исследования, для существования эффекта избирательного переноса необходимо наличие следующих условий:

- 1) материал детали не должен наклепываться в процессе работы и должен иметь структуру, благоприятную для сдвигообразования;
- 2) окисные пленки должны отсутствовать, так как при наличии их сцепление уже оторвавшихся частиц с поверхностью будет непрочным;
- 3) частица, отделяющаяся от одной из поверхностей, должна схватываться с сопряженной поверхностью;
- 4) величина частиц, отрывающихся от поверхностей, должна быть небольшой, сами частицы должны обладать высокой пластичностью.

Первое условие позволяет выполнить адсорбционное понижение прочности поверхности металла, сочетаемое с разрыхлением поверхности при избирательном растворении металла. Отсутствие окисных пленок при трении в восстановительных смазочных средах по отношению к окислам металла дает возможность осуществить второе и третье условия (схватывание отделившейся частицы с поверхностью трения). Высокая пластичность материала поверхностного слоя и способность не наклепываться должны определять четвертое условие.

Периодическая система элементов позволяет установить, что наиболее подходящим материалом, способным при некоторых условиях не окисляться, не наклепываться, легко восстанавливаться из окислов и, вместе с тем, прочно адсорбировать смазочный материал, является медь. Одной из наиболее активных смазок по отношению к окиси и закиси меди является глицерин, который при небольшом нагреве восстанавливает их до чистой меди.

Рассмотрим процесс трения в среде глицерина и связанный с ним процесс избирательного переноса в подвижном сопряжении, детали которого выполнены из стали и бронзы. Избирательное растворение медного сплава (бронзы) происходит в результате его взаимодействия со смазкой (глицерином). Поверхностный слой медного сплава разрыхляется, и атомы в нем приобретают высокую подвижность. Частицы меди вместе со смазкой образуют высокодисперсную коллоидную смесь. В контактном слое возникает электростатическое поле, в котором коллоидные частицы получают направленное движение – перенос, завершающийся образованием сервоитной пленки меди на поверхностях трения и их пассивации. Далее устанавливается режим безокислительного безыносного трения меди по меди. При механическом повреждении одной из поверхностей избирательный перенос возобновляется.

Таким образом, эффект избирательного переноса представляет образование на поверхности трения автоматически возрождающейся сервоитной пленки меди. Эта пленка возникает в результате взаимодействия смазочного материала с материалом поверхности трения, которое носит окислительно-восстановительный характер. Обладая высокой адгезией к породившему ее материалу и материалу контртела, сервоитная пленка прочно удерживается в зоне трения. В то же время сама пленка обладает высокой подвижностью, что обеспечивает весьма незначительное внутреннее трение в ней и многократную ее деформацию без разрушения. Сервоитная пленка надежно предохраняет поверхности трения от изнашивания и значительно снижает коэффициент трения.

В наиболее полной мере эффект избирательного переноса проявляется в паре трения бронза – сталь при смазке техническим глицерином, спиртоглицериновыми смесями и некоторыми консистентными смазочными материалами. Проявление эффекта возможно и в других случаях: при применении металлоплакирующих смазочных материалов, металлонаполненных полимеров, при смазке водой, в электрических контактах и др. Эффект избирательного переноса в паре бронза – сталь проявляется также при смазке минеральными маслами, например, МС-20, МК-8 и другими, в которые введены поверхностно-активные вещества.

Рассмотрение условий проявления избирательного переноса в паре бронза – сталь приводит к выводу – в судовых механизмах внедрение этого эффекта возможно только в тех узлах, где применяются консистентные смазочные материалы либо минеральные масла. Следует иметь в виду, что эта рекомендация справедлива для оловянно-фосфористых или никелевых бронз, работающих в паре с углеродистыми или конструкционными легированными сталями.

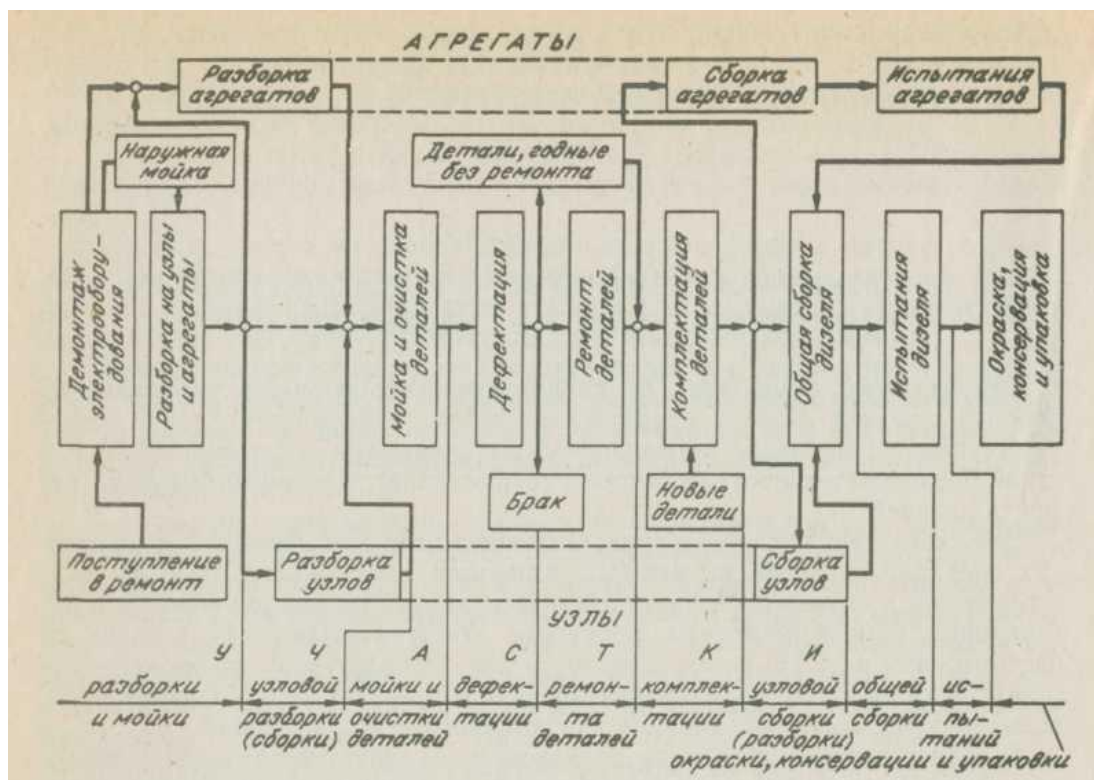
Таковыми узлами, в частности на судах типа «Славянск», являются шарнирное соединение амортизатора механизма изменения вылета стрелы крана КЭ26ТД, верхняя и нижняя втулки барабана шпиля Ш-58, втулка звездочки грузового вала шпиля и др.

Явление переноса металла при трении лежит в основе новых технологических процессов обработки поверхностей трущихся деталей: фрикционного латунирования, бронзирования и меднения. Суть их состоит в том, что стальные (или чугунные) детали перед сборкой покрывают тонким слоем латуни, меди или бронзы при трении скольжения прутка из медного сплава о стальную поверхность детали. В процессе работы тонкие слои антифрикционных металлов улучшают приработку деталей и повышают их противозадирные свойства.

## **1.7 Ремонт дизелей**

### ***1.7.1 Технологическая подготовка дизелей к ремонту. Структурная схема технологического процесса капитального ремонта судовых дизелей***

Структурная схема (рисунок 1.55) технологического процесса капитального ремонта судовых дизелей представляет собой совокупность блоков, соответствующих отдельным технологическим операциям и расположенных в такой последовательности, в которой осуществляется законченный цикл ремонта дизелей.



**Рисунок 1.55 – Структурная схема технологического процесса, ремонта дизелей в специализированных цехах**

Эта схема дает наглядное представление о всем комплексе технологических операций, который должен быть выполнен в специализированном цехе, и позволяет проследить тесную практическую взаимосвязь технологии и организации производственных процессов. Действительно, как следует из рассмотрения рисунка 1.55, почти каждому этапу технологического процесса соответствуют свои специализированные участки, за счет чего создаются предпосылки к поточной организации капитального ремонта дизелей.

В зависимости от характера производства и габаритов дизелей в специализированных цехах могут использоваться поточно-позиционные или поточно-бригадные методы выполнения ремонта. Выбором того или иного метода ремонта дизелей обуславливаются специфические особенности технологического обеспечения отдельных операций, и прежде всего слесарных операций узловой и общей сборки (уровень механизации, оснастки, инструмента и т.д.).

Капитальный ремонт дизелей в специализированных цехах является сложным комплексом работ не только по выполнению чисто технических процедур (переборки узлов, замены деталей и т.д.), но и по обеспечению необходимого качества отремонтированных дизелей. Поэтому перевод ремонтного производства на индустриальную основу неизбежно сопровождается приданием технологическим процессам выполнения отдельных операций научной основы. В современных условиях технология капитального ремонта судовых дизелей базируется на результатах научных исследований по:

- изучению износов основных деталей и разработке научных предпосылок к прогнозированию сроков службы механизмов и дизелей в целом;

– изучению и практической реализации наиболее совершенных методов восстановления изношенных поверхностей деталей до номинальных или ремонтных размеров;

– совершенствованию технологии механической обработки и сборки при ремонте и т. д.

Естественно, что общая оценка научного уровня технологии капитального ремонта дизелей определяется степенью изученности и практической реализации каждого из этих направлений в технологической схеме ремонта на том или ином конкретном предприятии, занимающемся специализированным дизелеремонтом.

Из рассмотрения схемы видно также, что ремонт агрегатов и узлов выполняют на отдельных специализированных участках. Такое положение обуславливает необходимость разработки технологических процессов ремонта на всю номенклатуру работ для каждого такого участка.

Технологические операции ремонта деталей дизеля и его агрегатов обычно не отличаются большим разнообразием и благодаря этому появляются возможности использования в реальных условиях типовых технологических процессов ремонта. Например, технологические процессы восстановления, мойки, очистки деталей и т.д. Исключение в указанном смысле составляют лишь базовые детали (фундаментные рамы, блоки цилиндров, коленчатые валы и т.д.), технология ремонта которых всегда более сложная и специфичная.

Разработка и построение технологической схемы капитального ремонта дизелей является важным этапом в подготовке и организации производственного процесса.

Практическая реализация этого этапа способствует выбору наиболее рациональных организационно-технических путей решения задачи по оптимизации технологии капитального ремонта.

### ***1.7.2 Мойка и очистка деталей дизелей при ремонте***

Технологические процессы мойки и очистки дизеля и его деталей являются главной отличительной особенностью ремонтного производства. Разработке этих процессов и их практическому внедрению всегда предшествует всесторонний анализ не только конструктивных качеств отдельных деталей, но и природы загрязнений, подлежащих удалению, методов промывки и очистки, а также оборудования, средств механизации, автоматизации технологических процессов и т.д.

По природе образования все загрязнения, подлежащие обязательному удалению при ремонте, разделяют на три группы, а именно:

1. продукты высокотемпературных превращений масел, топлива, рабочих жидкостей и т.д. (нагароотложения, лаковые отложения, смолы и осадки);
2. разрушенные (старые) лакокрасочные и другие неметаллические покрытия;
3. консервирующие покрытия и материалы.

*Нагароотложения* по своей структуре могут быть плотными, рыхлыми и пластинчатыми. Они образуются на деталях дизелей (головках поршней, клапанах и т.д.), работающих при высоких температурах, существенно ухудшают надежность



работы цилиндрико-поршневой группы, а при достижении больших толщин приводят к необходимости выполнения неизбежных ремонтных работ, вследствие, например, заклинивания поршневых колец в канавках поршня, зависания клапанов и т.д. Нагароотложения отличаются высокой механической прочностью и хорошей адгезией к поверхности детали. Поэтому их относят к наиболее трудно удаляемым загрязнениям. Химико-механические свойства нагароотложений определяются сортом топлива и масла, а также условиями образования. Обычно они состоят в основном из карбенов и карбоидов с добавками асфальтенов, смол и золы.

*Лаковые отложения* представляют собой результат совместного взаимодействия кислорода воздуха, высоких температур и катализации металла. Они образуются в виде тонкой и прочной пленки с гладкой поверхностью. Лаковые отложения появляются наиболее интенсивно при высоких, но недостаточных для сгорания масла температурах на таких деталях, как коленчатые валы, поршни (пригорание поршневых колец в канавках поршня), картеры и др.

По химическому составу лаковые отложения отличаются от нагароотложений добавками масел и оксикислот.

*Смолистые отложения* образуются вследствие окисления и полимеризации ненасыщенных углеводородов. Они являются характерными загрязнениями топливной системы дизелей. Внешне смолистые отложения представляют собой легкоплавкие вещества от темно-коричневого до черного цвета.

*Осадки* в виде густой липкой массы серо-коричневого или черного цвета состоят в основном из масла и воды с присадками оксикислот, асфальтенов, карбенов и карбоидов, а также незначительного количества золы, сажи и пыли. Осадки создают чаще всего чисто механические препятствия нормальной работе масляной и топливной систем дизелей, т.к. их адгезия к металлическим поверхностям относительно невелика. Удаление загрязнений в виде осадков обычно затруднений не вызывает.

На выбор компонентов моющих жидкостей наибольшее влияние оказывает вид загрязнений и природа их образования. При этом из-за широкой номенклатуры как самих загрязнений, так и факторов, обуславливающих их появление, построение рациональных технологических процессов очистки в ремонтном производстве является весьма проблематичным и требует специфического подхода при рассмотрении отдельных деталей или узлов, подлежащих очистке. В общем случае к моющим жидкостям, предназначенным для удаления загрязнений с металлических поверхностей, предъявляются требования:

1. максимальной моющей способности по отношению к конкретному виду загрязнений;
2. отсутствие разрушающего действия на очищаемую поверхность и токсического воздействия на человека;
3. возможно большей разницы в плотностях моющей жидкости и загрязнения;
4. пожарной безопасности.

Для очистки деталей из алюминиевых и черных сплавов в зависимости от условного номера щелочного раствора применяют нижеперечисленные компоненты (таблица 1.3), массовая доля, %, которых в воде составляет:

Таблица 1.3

Условный номер раствора	Детали из алюминиевых сплавов				Детали из сплавов черных металлов			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Каустическая сода	0,1–0,2	0,1–0,2	–	–	0,75	1,0	2,0	–
Кальцинированная сода	–	0,4	1,0	0,4	5,5	7,5	–	10,0
Тринатрийфосфат	–	–	–	–	1,0	1,3	5,0	–
Нитрат натрия	0,15–0,25	–	–	–	–	–	–	–
Жидкое стекло	–	–	–	0,15	–	–	3,0	–
Хозяйственное мыло	–	–	–	–	0,15	0,2	–	–
Хромпик	–	–	0,15	–	–	–	–	0,1

Для удаления нагара с деталей из алюминиевых сплавов и стали применяют щелочные растворы из нижеперечисленных компонентов (таблица 1.4), массовая доля, %, которых в воде составляет:

Таблица 1.4

	Детали из алюминиевых сплавов	Детали из стали
Каустическая сода	–	2,5
Кальцинированная сода	1,0	3,5
Жидкое стекло	1,0	0,15
Хозяйственное мыло	1,0	2,4
Хромпик	0,1	–

Физическая сущность механизма эффективного моющего действия жидкости на загрязнение состоит в том, что очищающая жидкость всегда образует на границе с металлом некоторый краевой угол, постоянный для данного химического ее состава. В том случае, когда этот краевой угол оказывается меньше краевого угла, образуемого загрязнением, очищающая жидкость проникает сквозь пленку загрязнения непосредственно к поверхности металла, и, нарушая адгезию, отделяет частицы отложений (рисунок 1.56, где стрелками показано возбуждение моющей жидкости). Уменьшению краевого угла моющей жидкости способствует применение поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые значительно снижают свободную межфазовую энергию на границе раствора и загрязнения, проникая в масляную пленку, разрушают ее с образованием комплексных соединений и за счет этого создают благоприятные условия для вытеснения масляной пленки «М» обезжиривающим раствором. Одновременно благодаря химическому взаимодействию жидкие загрязнения переходят в раствор моющего препарата с образованием эмульсий и суспензий.



$a$  – нарушение однородности загрязнений;  $b$  – смещение образующихся сферических загрязнений;  $c$  – образование сферической формы и присоединение плоских капель;  $z$  – отделение загрязнения от поверхности

**Рисунок 1.56 – Схемы процесса отмыывания маслянных загрязнений**

Поверхностно-активные вещества разделяют на анион-, катион- и неионактивные группы. Анионактивные ПАВ составляют основу таких моющих препаратов, как сульфанол, сульфанат и др. Они диссоциируют в водных растворах на ионы. Катионактивные ПАВ в моющих составах, как правило, не используются. Неионактивные (нейтральные) ПАВ в водных растворах на ионы не диссоциируют. Большим преимуществом моющих составов с этими веществами является их малая пенообразующая способность.

Все ПАВ в моющих растворах обычно используются совместно со щелочными солями – каустической содой ( $\text{NaOH}$ ), нитрофосфатом натрия ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), триполифосфатом натрия ( $\text{Na}_5\text{P}_7\text{O}_{10}$ ) и др. Получаемые при этом композитные составы обладают хорошими эмульгирующими свойствами и способствуют переходу грубодисперсной фазы загрязнений в коллоидный раствор (пептизации).

**Методы и средства мойки и очистки**, применяемые для удаления загрязнений деталей дизелей при ремонте, можно разделить на две группы:

- механические;
- физико-химические.

Выбор каждого из этих методов для практического использования определяется конструктивными особенностями деталей, их материалами, природой загрязнений и рядом других технологических факторов.

Из *механических методов* очистки деталей наиболее эффективна очистка косточковой крошкой, представляющей собой продукт измельчения фруктовых косточек слив, абрикосов и других фруктов. Кинетическая энергия этим частицам (диаметром 1–3 мм) сообщается пневматическими устройствами, работающими по схемам принудительной, ижекторной и верхней подачи крошки. Большими преимуществами такой очистки, наряду с высокой эффективностью, являются минимальные остаточные деформации очищаемых поверхностей, пригодность ее для очистки деталей из любых материалов и хорошее качество очистки.

*Пневно- и гидроабразивные способы механической очистки* имеют весьма ограниченное практическое применение в современных технологических процессах. Объясняется это тем, что при использовании, например, пневмоабразивного способа требуется надежная индивидуальная защита обслуживающего персонала от воздействия абразивной пыли. Применяемые аппараты обладают высоким уровнем шума, процесс очистки сопровождается выделением вредного для дыхания атомарного кислорода при соударении твердых абразивных частиц с очищаемым металлом и т.д.

*Физико-химические методы очистки деталей* при ремонте подразделяются на методы очистки в электролитах и органических растворах или специальных моющих жидкостях.

Сущность электролитической очистки состоит в том, что очищаемую деталь погружают в раствор электролита, через который пропускают постоянный ток, и в

результате электролиза на очищаемой поверхности возникает сложный комплекс явлений, обусловленных интенсификацией движения жидкости под действием выделяющегося газа, смещением частиц загрязнений, химическими процессами окисления и восстановления: на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород. В зависимости от полярности очищаемой детали различают катодную и анодную очистки.

Обычно катодная очистка является более эффективной, но имеющее при этом место наводороживание поверхностных слоев очищаемых деталей ухудшает их эксплуатационные свойства из-за так называемой водородной хрупкости. Для устранения вредного влияния водородной хрупкости ответственные детали после катодной очистки дополнительно обрабатывают по обезводороживанию.

В практических условиях чаще используют анодную очистку, при которой деталь является анодом.

*Физико-химические методы очистки* в органических растворах и специальных моющих жидкостях являются наиболее целесообразными в специализированном ремонтном производстве, так как позволяют сравнительно просто механизировать и автоматизировать процесс очистки.

Различают *две разновидности физико-химических методов очистки* в растворах и моющих жидкостях:

1. очистку погружением детали в раствор моющей жидкости;
2. очистку струйным способом.

*При очистке погружением детали располагают* в специальных ваннах с моющей жидкостью, в качестве которой используют щелочные растворы и растворители. Интенсификация процесса очистки в этом случае обеспечивается дополнительным подогревом щелочных растворов до 70–90° С и возбуждением моющего препарата барботером, лопастными винтами или затопленными струями.

Струйный способ очистки осуществляют подачей раствора под давлением на очищаемую поверхность. Он сопровождается более высоким уровнем возбуждения моющей жидкости. Благодаря комплексному физико-химико-механическому удалению загрязнений при струйном способе появляется возможность значительно сократить длительность очистки, несмотря на то, что в этих случаях используют менее концентрированные моющие растворы.

Большое влияние на качество и производительность струйной очистки оказывают количество подаваемой жидкости и форма струи. Наиболее часто применяют плоские и конусообразные струи, получаемые профилированием насадков моечной установки. Предпочтительными являются конусообразные струи, поскольку обеспечивают максимальный охват очищаемой поверхности при достаточном давлении рабочей струи и незначительном расходе жидкости.

Технологический процесс физико-химической очистки деталей включает в себя несколько операций, основными из которых являются обезжиривание, промывка и сушка очищаемых поверхностей.

К современным процессам обезжиривания относят так называемое эмульсионное обезжиривание, при котором к обычным растворам добавляют эмульгаторы или применяют специальные двухфазные растворы с целью обеспечения поочередного контакта загрязнений с каждой из этих фаз раствора. Эмульсионное обезжиривание

может осуществляться в виде эмульсионной очистки (простой процесс) или эмульсионного растворения (двойной процесс). В первом случае загрязнения удаляются в основном непосредственным погружением в ванны с моющим раствором, а остатки загрязнений – струйной очисткой. При эмульсионном растворении очищаемые детали выдерживают в концентрированном препарате до тех пор, пока не растворятся жиры, а эмульгатор не адсорбируется на загрязнениях и поверхности детали. После этого поверхности детали обмывают эмульсиями с последующей промывкой горячей водой. Такой вариант технологического процесса с использованием композиций типа растворитель-эмульгатор обеспечивает очистку деталей от наиболее прочных загрязнений типа нагаров. В качестве растворителей обычно применяют органические вещества (хлорированные углеводороды, фенолы и т.д.), хорошо растворяющие асфальто-смолистые продукты, а эмульгаторами являются различные мыла.

Механизация физико-химической очистки дизелей, узлов и отдельных деталей обеспечивается в практических условиях использованием специальных моечных установок, которые проектируют и изготавливают в виде двух-и трехкамерных машин. В двухкамерных моечных установках первая камера предназначена для очистки и обезжиривания деталей, а вторая – для промывки очищенных и обезжиренных деталей горячей водой. В трехкамерной установке третья камера предусмотрена для просушивания деталей горячим воздухом.

Все механизированные моечные установки разделяют на машины тупикового и конвейерного типа.

**Таблица 1.5**

<b>Компоненты</b>	<b>Массовая доля компонентов в воде, %</b>	<b>Очищаемые металлы</b>
Кальцинированная сода	1,2–2,8	Сталь
Тринатрийфосфат	0,5–1,0	
Силикат натрия	1,5–3,0	
Едкий натрий	0,5–2,5	Сталь
Кальцинированная сода	0,3–2,0	
Тринатрийфосфат	0,3–2,0	
Силикат натрия	0,3–2,0	
ОП-7	0,35	Сталь
Едкий натрий	1,5–2,0	
Хромпик калиевый	0,15	
Едкий натрий	0,5–1,0	Сталь, медь, латунь
Кальцинированная сода	1,5–3,0	
Тринатрийфосфат	3,0–6,0	
ОП-7	0,3–0,5	
Тринатрийфосфат	3,0–4,0	Сталь, алюминий
ОП-7	0,3–0,5	
Кальцинированная сода	1,0	Сталь, алюминий
Силикат натрия	1,0	
ОП-7	0,3	

Особое место среди методов очистки деталей от загрязнений занимает ультразвуковой метод, в основе которого лежит явление кавитации, сопровождающееся сложным комплексом физических, химических, электрических и гидродинамических явлений. Ультразвуковой метод является универсальным процессом интенсификации очистки деталей в жидких моющих составах. При ультразвуковой очистке в моющей жидкости с помощью магнитострикционных или пьезоэлектрических преобразователей возбуждаются колебания ультразвуковой частоты (20–30 кГц) и за счет высокой объемной плотности энергии создаются общие и местные гидродинамические потоки, которые при определенных давлениях приводят к появлению кавитации. При разрыве пузырьков возникают ударные волны и кумулятивные струи, которые, воздействуя на очищаемую поверхность, приводят к микро-и макроразрушениям загрязнений.

Состав моющих жидкостей (таблица 1.5) устанавливают в каждом конкретном случае в зависимости от того, из каких материалов (черных, цветных и т.д.) изготовлены детали, подвергающиеся очистке.

### ***1.7.3 Ремонт деталей дизелей***

#### **Ремонт фундаментных рам судовых дизелей.**

Фундаментные рамы судовых мало- и среднеоборотных дизелей МОД и СОД наиболее часто представляют собой литые конструкции из серого чугуна сложной конфигурации с неравномерной концентрацией металла в районе подшипниковых опор и ребрениях. Этим в значительной мере предопределяются их большие внутренние напряжения и склонность к трещинообразованию.

Во многих случаях эффективно удалить внутренние напряжения термообработкой не удастся по чисто техническим причинам из-за отсутствия необходимого оборудования для крупногабаритных деталей.

В результате при изготовлении дизелей на сборку поступают фундаментные рамы не только с остаточными литейными напряжениями, но и с внутренними поверхностными напряжениями, возникшими при механической обработке плоскостей разъемов и опорных поверхностей под вкладыши коренных подшипников

К ведущим износам фундаментных рам относятся искажения формы отверстий под вкладыши коренных подшипников, нарушение их соосности, появление отклонений от плоскостности и прямолинейности опорных поверхностей разъемов, образование трещин, износ замков под крышки подшипников и т.д.

При ремонте дизелей единичными или мелкими сериями, что наиболее характерно для ремонта МОД большой мощности, смысл дефектации сводится к объективной оценке всех износов и установлению работоспособности фундаментных рам в течение срока службы до очередного капитального ремонта.

Неизбежное снижение технических требований к точностным параметрам при таком ремонте обуславливают более низкое качество узловой и общей сборки, отказ от использования в технологическом процессе современных принципов взаимозаменяемости, увеличение трудоемкости и т.д.

**Выявление искажений формы отверстий** под вкладыши коренных подшипников в практических условиях осуществляется микрометрическими измерениями штихмассами или индикаторными нутромерами с точностью 0,01 мм.

При этом измерения выполняют на каждой опоре в двух сечениях I–I и II–II по длине опоры (рисунок 1.57) и двух взаимно перпендикулярных направлениях, *а–а* и *б–б*.

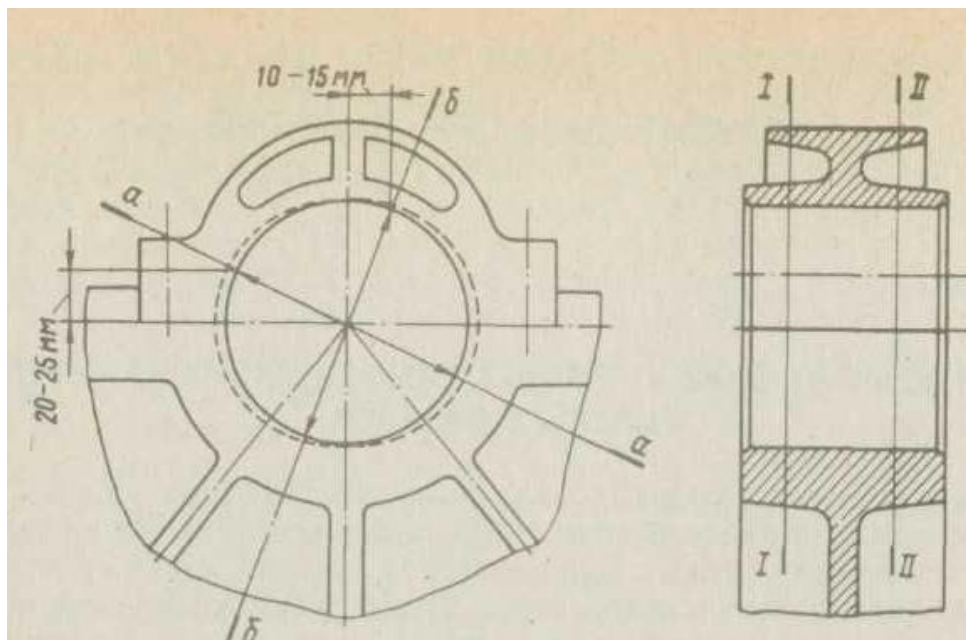
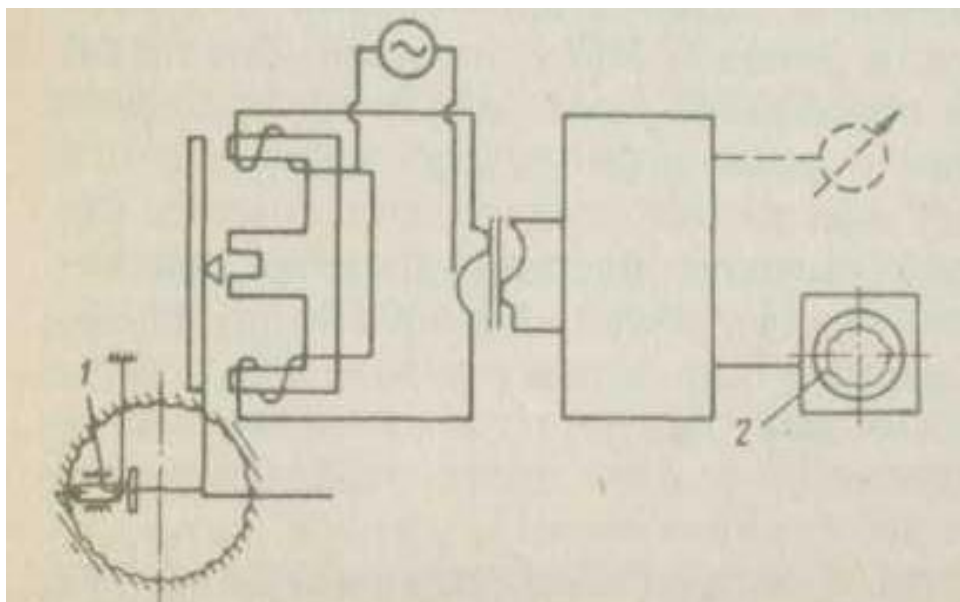


Рисунок 1.57 – Схема характерных износов (штриховая линия) и дефектации гнезд под вкладыши коренных подшипников

**Фактическую овальность и конусность оценивают** на основании очевидных элементарных вычислений и сравнивают с предельными значениями, регламентируемыми техническими условиями на капитальный ремонт дизеля конкретной марки. Наиболее характерные искажения формы рассматриваемых поверхностей сводятся к увеличению диаметральных размеров расточек в горизонтальной плоскости (см. рисунок 1.57).

Для более точного представления о непрерывных изменениях формы опорных поверхностей измерения выполняют с помощью специальных электронных кругломеров, например, типа ВЕ-37А, которые преобразуют механические перемещения щупа 1 (рисунок 1.58) в электрические сигналы, регистрируемые на электротермической бумаге 2 в виде реальных круглограмм.



**Рисунок 1.58 – Схема измерения искажений геометрической формы с помощью кругломера ВЕ-37А**

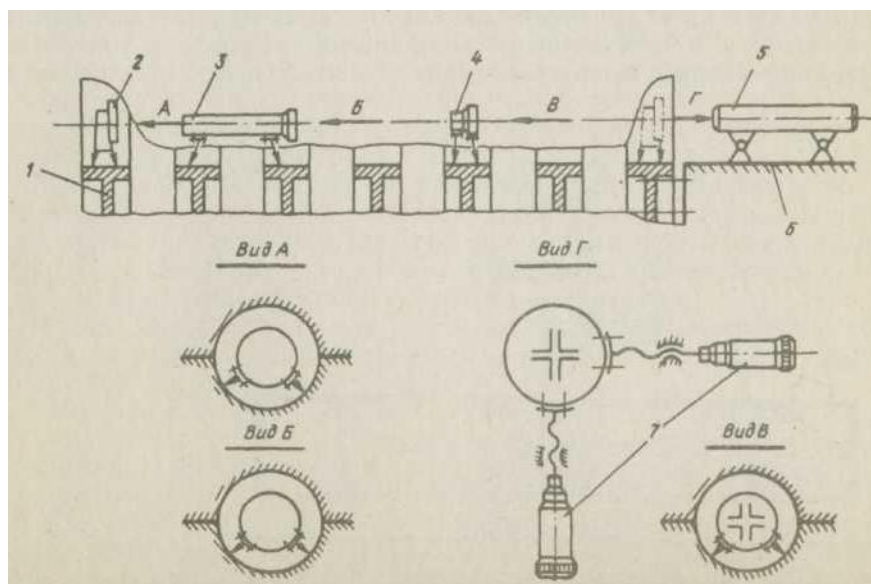
**Несоосность постелей** (посадочных поверхностей под вкладыши коренных подшипников) и их ступенчатость при дефектации фундаментных рам контролируют либо с помощью специальных фальшвалов и щупов, либо оптическими методами. При проверке ступенчатости постелей с помощью фальшвалов фактическое значение этой величины оценивается набором щупов, которые вводят в зазор между опорной поверхностью рамы и контрольным пояском фальшвала с учетом истинных размеров поясков.

Основной недостаток таких измерений состоит в сравнительно невысокой точности. Однако простота и доступность этого метода обуславливают его широкое практическое распространение.

Оптические измерения взаимного расположения постелей под вкладыши коренных подшипников отличаются большей точностью, но требуют применения специальных оптических приборов и вспомогательной технологической оснастки.

При шаговом способе проверки взаимного расположения подшипниковых опор (рисунок 1.59) оптическая система 5 закрепляется непосредственно на торце фундаментной рамы или на технологической стойке 6 после предварительной выверки относительно центров отверстий двух крайних постелей. Сущность такой выверки при визирном методе проверки сводится к тому, что в каждую из этих постелей устанавливают последовательно котировочную марку 2 и вращением микрометрических винтов 7 добиваются совмещения спроектированного на марку и отраженного от ее зеркальной поверхности перекрестия с биссектором оптической трубы.





**Рисунок 1.59 – Схема оптических измерений взаимного расположения гнезд под вкладыш коренных подшипников**

На практике погрешность взаимного расположения находят сравнением фактических значений с допускаемыми, а при исследованиях пригодности оптических методов для подобных измерений по значениям средних квадратических отклонений от нулевой линии.

Измерения взаимного расположения опор под вкладыши коренных подшипников с помощью специальных марок практически ничем не отличаются от измерений по шаговому способу. Разница состоит только в том, что в этом случае марку 4 устанавливают по отдельности в каждую опору и по нониусам микрометрических винтов фиксируют не усредненную погрешность расположения смежных опор, а истинное смещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях той опоры, в которой находится марка.

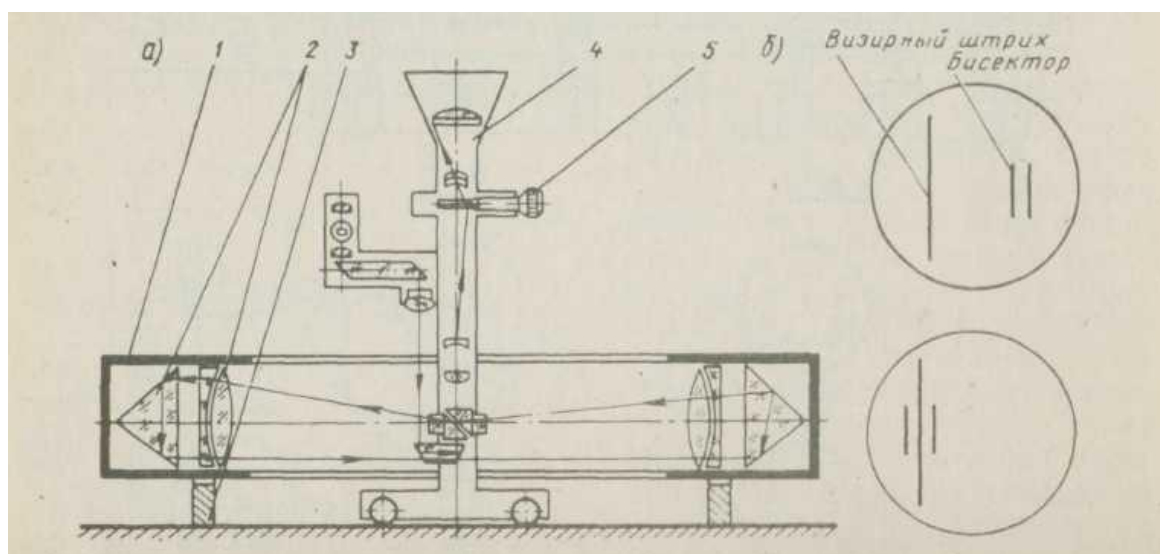
Обычно предельные значения несоосности опор под вкладыши коренных подшипников по чертежам или ТУ на ремонт составляют 0,01–0,02 мм для соседних постелей и 0,03–0,05 мм для крайних.

**Непрямолинейность и неплоскостность поверхностей разъемов** фундаментных рам при дефектации оценивают либо слесарными поверочными линейками и слесарными уровнями, либо оптическими приборами. Однако существенными недостатками такого метода дефектации являются его невысокая точность и ограниченные возможности при оценке прямолинейности и плоскостности больших по площади и протяженности поверхностей, характерных для фундаментных рам мощных судовых дизелей.

Дефектация плоскостей разъемов фундаментных рам оптическими приборами может осуществляться непрерывными измерениями с использованием оптической линейки, например, ИС-36М, или дискретными измерениями в заданном количестве отдельных участков плоскости разъема с применением специальных марок и оптической трубы ППС-11.

В первом случае оптическая линейка ИС-36М (рисунок 1.60), состоящая из трубы 1, в оконечностях которой расположены зеркально-линзовые объективы 2,

устанавливают на контролируемую поверхность посредством двух опор 3. Одна из этих опор является регулируемой и служит для настройки линейки перед измерениями.



1 – труба; 2 – зеркально-линзовые объективы; 3 – опора; 4 – каретка; 5 – микровинт

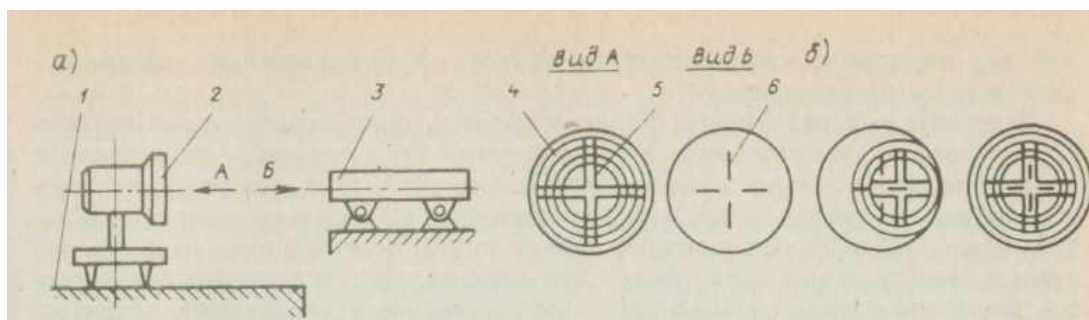
**Рисунок 1.60 – Оптическая линейка ИС-36М для измерения непрямолинейности поверхностей разъемов фундаментальных рам (а) и схема совмещения визирного штриха с биссектором (б)**

**Определение фактической непрямолинейности производится** по колебаниям измерительного наконечника каретки 4 путем совмещения на экране проекционного окуляра визирного штриха с биссектором при помощи микровинта 5, а численные значения этих отклонений с точностью до 0,001 мм получают по отсчетному нониусу барабана микровинта.

Линейка имеет специальное устройство, которое позволяет при необходимости записывать профилограмму измеряемой поверхности с достаточной для практических целей точностью.

**Измерения плоскостей разъемов фундаментных рам** с помощью специальных зеркальных марок и оптической трубы ППС-11 позволяют оценивать отклонения от плоскостности в каком-угодно количестве отдельных участков контролируемой поверхности.

При этом зеркальная марка 2 (рисунок 1.61), имеющая отсчетную сетку 4 с биссектором 5, материализует элементарный участок измеряемой поверхности 1 тремя опорными штифтами. Наклоны такой элементарной плоскости относительно оптической оси трубы 3 и фиксируются в двух взаимно перпендикулярных направлениях по нониусу микрометрических винтов.



1 – измеряемая поверхность; 2 – зеркальная марка; 3 – оптическая ось трубы;  
4 – сетка; 5 – биссектор

**Рисунок 1.61 – Схемы оптических измерений неплоскостности с помощью оптической трубы (а) и совмещения визирных штрихов с биссектором (б)**

**Трещины в фундаментных рамах** являются наиболее сложными по природе образования износами и повреждениями этих деталей. Они приводят к нарушению не только герметичности соединений, но и, что особенно опасно, сплошности металла, которое развивается с течением времени и при достижении определенных размеров может привести к полному разрушению рамы в эксплуатации. Вот почему при дефектации фундаментных рам особое внимание уделяют выявлению и обнаружению этих опасных дефектов.

Из всех существующих методов неразрушающего контроля для обнаружения микротрещин на поверхностях разъемов фундаментных рам наиболее эффективны электромагнитные методы, основанные на использовании вихревых токов.

Макротрещины фиксируются визуально при помощи лупы с 10-кратным увеличением, а для более точного определения пределов их распространения может использоваться метод керосиновых проб.

Микро- и макротрещины с наибольшей вероятностью появляются в местах неравномерной концентрации напряжений там, где нарушена сплошность металла различного рода отверстиями, например, для силовых связей и т. д.

**Одним из способов устранения трещин** является «холодная» сварка чугуна с применением различных сварочных материалов. Основные требования, при которых процесс может обеспечить качественную сварку трещин при ремонте, сводятся к получению металла шва повышенной пластичности по сравнению с металлом рамы при минимальном проплавлении его, возможно меньшей зоны термического влияния и т.д.

К современным вариантам «холодной» сварки трещин относятся процессы сварки стальными электродами с карбидообразующими элементами в покрытии, медно-стальными, медно-никелевыми и железо-никелевыми электродами.

**Ремонт фундаментных рам с целью устранения искажений геометрических форм и взаимного расположения баз** может осуществляться 1). механической обработкой по системе ремонтных размеров. 2). предварительного восстановления этих поверхностей наращиванием металла с последующей механической обработкой.

При небольших износах часто ограничиваются пришабриванием отдельных участков или всех опорных поверхностей по сопряженным деталям. Устранение износов пришабриванием сопровождается большими трудовыми затратами при ограниченной точности выполнения технологической операции.

Ремонт механической обработкой по системе ремонтных размеров отличается наибольшей экономичностью и простотой, поскольку при наличии необходимого оборудования мало чем отличается от технологических процессов механической обработки машиностроительного (дизелестроительного) производства.

Ремонт изношенных поверхностей фундаментных рам наращиванием слоя металла и последующей механической обработкой при относительно более низких экономических показателях метода по сравнению с механической обработкой по системе ремонтных размеров обеспечивает восстановление баз до номинальных размеров и тем самым устраняет главный недостаток метода ремонта по системе ремонтных размеров.

При выборе того или иного технологического процесса наращивания металла на изношенную поверхность всегда руководствуются соображениями о том, чтобы принятый для практического использования процесс нанесения поверхностных покрытий удовлетворял долговечности и критериям применяемости и технико-экономической эффективности.

В отношении фундаментных рам все это наиболее существенно потому, что они являются деталями сложной конфигурации с прерывистыми базами и требуют глубокого анализа возможности применения конкретного технологического процесса.

Этими конструктивными особенностями восстановления баз обуславливаются повышенные требования к технологическому процессу наращивания металла по прочности сцепления покрытия с основным металлом при восстановлении внутренних криволинейных (цилиндрических) поверхностей.

***Восстановление опорных поверхностей под вкладыши коренных подшипников*** наращиванием металла является одним из современных направлений совершенствования технологии ремонта крупногабаритных деталей. При этом в качестве наиболее приемлемых для практического использования процессов обычно рассматриваются металлизация распыливанием, полимерные и гальванические покрытия (электролитическое железнение).

Металлизация распыливанием отличается большей доступностью, что исключительно важно для ремонтных условий. Главным преимуществом ее является малый нагрев поверхностных слоев восстанавливаемых деталей, а, следовательно, и незначительные их деформации. Технологический процесс металлизации распыливанием, наряду с наращиванием необходимых толщин металла на поверхность гнезд фундаментной рамы, может обеспечить регулирование в достаточно широких пределах свойств нанесенных покрытий.

Однако ограниченная прочность сцепления покрытия с основным металлом, непосредственная зависимость ее от качества предварительной подготовки поверхностей, а также сложность и трудоемкость обеспечения такой подготовки существенно затрудняют использование этого процесса на практике для восстановления внутренних криволинейных поверхностей.

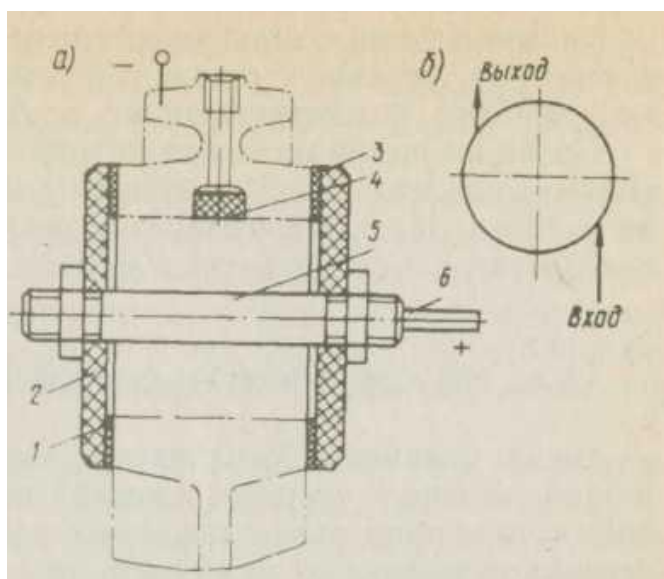
Полимерные покрытия на восстановленную поверхность можно наносить как с предварительным подогревом детали, так и с использованием полимеров холодного отверждения с металлическими добавками, необходимыми для улучшения

теплопроводности. Последний вариант технологии нанесения полимерного покрытия был использован для восстановления гнезд фундаментной рамы дизеля 6ЧНСП18/22.

С этой целью на изношенные поверхности под вкладыши коренных подшипников наносился полимерный состав из эпоксидной смолы ЭД-б, пластификатора (дибутилфталата) и отвердителя (полиэтиленамина) и на слой этого состава укладывался формующий технологический вал, диаметр которого точно соответствовал размеру гнезд под вкладыши. Полная полимеризация состава осуществлялась в течение 24 ч при температуре 20°C.

**Гальванические покрытия** при восстановлении гнезд фундаментных рам наращиванием металла являются наиболее изученными технологическими процессами. Практическое использование этих процессов для восстановления фундаментных рам, особенно рам крупных и мощных дизелей, существенно ограничивается чисто техническими проблемами создания стационарных электролитических ванн большой вместимости.

Один из вариантов электролитического железнения был применен ЛИВТ для наращивания слоя электролитического железа на поверхности гнезд под коренные вкладыши фундаментных рам дизеля 6ЧНСП1822. Технологическая схема восстановления рам в этом случае предусматривала создание специальной ячейки (рисунок 1.62), состоящей из двух диэлектрических дисков – крышек 2 и 3, анода 5, изготовленного из стали-10 и токоподводящего анодного стержня 6. Катодом является восстанавливаемая деталь. Герметичность ячейки создавалась за счет уплотнения прокладками 1, а также пробкой 4. Строгое concentричное расположение анода и катода обеспечивалось дополнительными технологическими выверками.



*а* – конструктивное исполнение ячейки; *б* – подвод электролита в ячейку

*1* – прокладки; *2, 3* – крышки; *4* – пробка; *5* – анод; *6* – стержень

**Рисунок 1.62 – Схемы проточного железнения гнезд фундаментальных рам**

Электролитическое железнение при плотности тока 20 А/дм<sup>2</sup> и температуре процесса 800 С обеспечивает получение толщины осадка до 0,46 мм, что вполне удовлетворяет требованиям последующей механической обработки по припуску.

Восстановление поверхностей разъемов фундаментных рам наращиванием металла принципиально может быть осуществлено теми же методами, что и восстановление гнезд под вкладыши коренных подшипников. Однако большая протяженность этих поверхностей и их сложная форма из-за наличия различного рода конструктивных приливов и элементов, делают практически невозможным применение гальванических процессов как в стационарном, так и проточном исполнении.

Наиболее приемлемым в этом случае процессом нанесения покрытий оказывается плазменное напыление, которое относительно просто и быстро обеспечивает не только восстановление именно больших и прерывистых плоских поверхностей, но и позволяет в широких пределах изменять температурный режим процесса, регулировать плотность покрытия, качество сцепления с основным металлом и т.д.

Анализ применимости тех или иных методов восстановления изношенных поверхностей фундаментных рам свидетельствует о том, что пока на практике не удастся решить эту проблему с использованием какого-либо одного универсального технологического процесса наращивания металла.

Отсутствие же этой универсальности и необходимость использования для восстановления одной и той же детали нескольких, даже вполне совершенных, процессов создает непреодолимые трудности в применении на практике технологических процессов наращивания металла для ремонта фундаментных рам.

### **Ремонт верхних картеров судовых дизелей**

*Верхние картеры высокооборотных дизелей* (ВОД) представляют собой базовые детали, несущие опоры коренных подшипников коленчатых валов. Ведущими износами верхних картеров являются искажения формы и размеров гнезд под вкладыши коренных подшипников, а также замков подвесок (крышек подшипников). Устраняют искажения формы и размеров гнезд под вкладыши коренных подшипников механической обработкой по системе ремонтных размеров с последующей установкой на сборке соответствующих ремонтных вкладышей.

Механическую обработку выполняют на специальных расточных станках борштангой одновременно для всех подшипниковых опор. Верхние картеры, поступающие в ремонт с диаметральными размерами гнезд, соответствующими предельным значениям, выбраковывают.

Подвески коренных подшипников при наличии износов, больших допускаемых, подлежат замене. Новые или ремонтные подвески подбирают по допустимым натягам в соединении замковых поверхностей верхнего картера и подвески высокооборотных дизелей.

### **Ремонт блоков, моноблоков и крышек цилиндров**

*Блоки цилиндров МОД* представляют собой, как правило, литые конструкции из серых чугунов, сложной конструкции и конфигурации, с большим количеством разнотолщинных конструктивных элементов, обуславливающих повышенную склонность этих деталей к трещинообразованию. Одним из основных дефектов (повреждений) блоков цилиндров дизелей, поступающих на капитальный ремонт, являются трещины, образующиеся чаще всего на верхней и нижней плоскостях



разъемов в местах расположения отверстий под силовые связи и шпильки для крепления крышек цилиндров.

Наиболее опасными и трудно устранимыми при ремонте оказываются такие трещины, которые распространяются на охлаждающие полости, нарушая их герметичность.

Дефектация блоков цилиндров с целью выявления макро- и микротрещин сводится либо к визуальному осмотру участков, с наибольшей вероятностью склонных к трещинообразованию, либо к контролю этих участков с помощью неразрушающих методов физического контроля. При визуальном осмотре обычно пользуются лупой с 5–10-кратным увеличением или прибегают к методу керосиновых проб. Для обнаружения микротрещин блоков цилиндров пригодными оказываются цветной и электромагнитный методы.

Как показали результаты практического внедрения, электромагнитные обнаружения микротрещин в токовихревом варианте являются более целесообразными и позволяют выявлять дефекты не только на плоскостях разъемов, но и на опорной поверхности верхнего посадочного бурта блока цилиндров.

По существующему на практике опыту регламентации дефектов трещины независимо от их размеров относятся к недопустимым повреждениям и подлежат обязательному устранению. Характер, протяженность и место расположения трещин, которые разрешается устранять при ремонте, определяются техническими условиями и картами дефектации этих деталей. Любые несоответствия по каждому из указанных элементов трещин обуславливают выбраковывание блоков цилиндров и замену их новыми.

Единственно возможным и приемлемым для устранения трещин технологическим процессом является сварка в последовательности, аналогичной той, которую применяют при восстановлении фундаментных рам.

Отличие состоит только в том, что при устранении трещин сваркой, распространяющихся в зарубашечное пространство и нарушающих герметичность охлаждающих полостей, предъявляются особенно жесткие требования по плотности сварочного шва и его водонепроницаемости при пробных давлениях жидкости на гидравлических испытаниях.

Технологические процессы устранения трещин на блоках цилиндров сваркой и последующих гидравлических испытаний, учитывая повышенные требования к качеству сварного соединения, в практических условиях обязательно согласовывают с представителями Инспекции Речного Регистра.

Ведущими износами блоков цилиндров являются коррозионные разрушения водяных полостей и посадочных поясков, искажения геометрической формы и размеров плоскостей разъемов, а также опорной и диаметральной поверхностей посадочных поясков.

Коррозионные разрушения водяных полостей и посадочных поясков – результат воздействия охлаждающей жидкости, интенсифицированным благодаря неизбежным вибрационным явлениям цилиндровых втулок и блоков цилиндров. Эти разрушения проявляются в виде местной или общей коррозии омываемых водой поверхностей и в

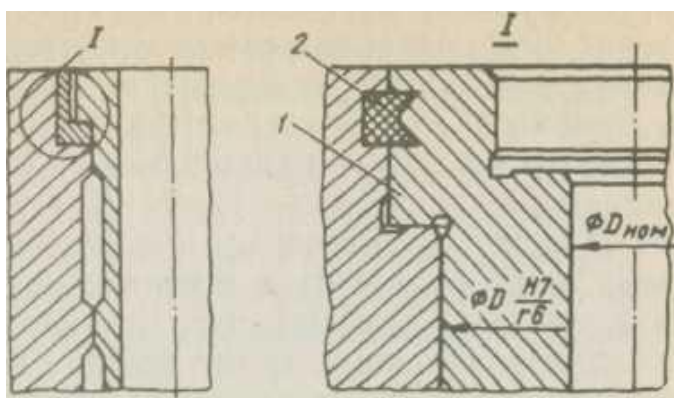
тех случаях, когда приводят к нарушениям герметичности уплотнений посадочных поясков, относятся к недопустимым дефектам.

При дефектации блоков цилиндров характер расположения и объем коррозионных разрушений определяют внешним осмотром, причем из-за отсутствия строгих научно обоснованных регламентации допустимых величин язвенной коррозии вопрос о необходимости и целесообразности устранения дефектов или выбраковывания блоков цилиндров решается чаще всего на основании практического опыта контролирующего и производственного персонала предприятий.

Устраняют коррозионные разрушения посадочных поясков при ремонте блоков цилиндров механической обработкой на ремонтный размер или посредством конструктивно-технологической модернизации элементов соединения цилиндровых втулок с блоком цилиндров. Любой из этих вариантов восстановления работоспособности блоков цилиндров позволяет одновременно решить и проблему устранения искажений геометрической формы и размеров опорных и диаметральных поверхностей верхнего и нижнего посадочных поясков.

Ремонт блоков цилиндров механической обработкой по системе ремонтных размеров предусматривает растачивание посадочных поясков на очередной ремонтный размер на горизонтально-расточных станках. Ориентация детали на станке относительно оси шпинделя при ее установке и закреплении осуществляется последовательными выверками для обеспечения заданной перпендикулярности плоскости разъема и образующих посадочных поясков с помощью индикаторов часового типа по крайним цилиндрам.

Сущность конструктивно-технологической модернизации элементов посадочных поясков для устранения коррозионных разрушений и искажений геометрической формы и размеров сводится к тому, что верхний посадочный пояс растачивают на заранее заданный размер и в полученное отверстие устанавливают дополнительную втулку 1 (рисунок 1.63) с припуском на окончательную обработку по внутреннему диаметру.



1 – втулка; 2 – резиновое кольцо

**Рисунок 1.63 – Схема ремонта блоков цилиндров постановкой технологической втулки**

Надежность соединения втулки с блоком цилиндров обеспечивается натягом и дополнительным склеиванием этих деталей бакелитовым лаком или эпоксидными коатмундами. Резиновое кольцо 2 служит для улучшения герметизации соединения.



Ремонт нижнего посадочного пояска модернизацией может осуществляться путем механической обработки его внутренней поверхности до размеров, обеспечивающих постановку сальникового уплотнения обычной конструкции.

Большим преимуществом ремонта посадочных поясков блоков цилиндров с конструктивно-технологической модернизацией их элементов является то, что в этих случаях имеется возможность восстановить диаметральные размеры до номинальных и устранить основной недостаток метода ремонта механической обработкой по системе ремонтных размеров.

Выявление искажений геометрической формы и размеров посадочных поясков и плоскостей разъемов блоков цилиндров при дефектации практически ничем не отличается от аналогичных измерений диаметральных и линейных размеров баз фундаментных рам.

Методика микрометрических измерений диаметральных размеров посадочных поясков предусматривает оценку фактической овальности и сопоставление численных значений этой овальности со значениями, которые регламентируются техническими условиями на ремонт.

Износы плоскостей разъемов блоков цилиндров проявляются в образовании непрямолинейности и неплоскостности как на отдельных участках, так и в пределах всей детали.

Восстановление плоскостей разъемов блоков цилиндров на практике осуществляют теми же методами, которые применяются при ремонте фундаментных рам.

Моноблоки судовых высокооборотных дизелей, например, типа М400, М401 и т.д., представляют собой неразъемные конструкции собственно блока и крышек цилиндров в виде отливок из алюминиевых сплавов АЛ-4 и АЛ-5. Отказ в этих дизелях от блочного исполнения остова и переход к моноблокам объясняется стремлением повысить жесткость основной детали и благодаря такому мероприятию уменьшить вибрации и кавитационные разрушения наружных поверхностей гильз цилиндров.

Подобная конструктивная модернизация заметно ухудшила технологичность и ремонтпригодность моноблоков в отношении как выявления и устранения трещин в клапанной доске камеры сжатия, так и замены гильз цилиндров по причине загрязнений каналов для охлаждающей жидкости или достижения предельных износов этих деталей по наружной или внутренней поверхности.

Наиболее характерными износами и повреждениями моноблоков ВОД являются трещины, нарушающие герметичность водяного пространства. Эти трещины в практических условиях обнаруживают опрессовыванием моноблока в сборе с гильзой цилиндра водой под давлением 0,4 атм при температуре 85–90° С в течение не менее 5 мин. Появление течи воды через стенки моноблока, литейные заглушки, из контрольных отверстий и т. д. свидетельствует о наличии трещин, свищей и других сквозных дефектов.

Другую группу износов моноблоков составляют нарушения прочности прессовых соединений гильз цилиндров, гнезд под седла клапанов, направляющих клапанов и т. д. Выявление фактической надежности соединений производят путем выпрессовывания и последующего микрометрирования посадочных поверхностей сопрягаемых деталей с

целью определения истинных значений натягов и сопоставления их с предельно допустимыми.

При неудовлетворительных результатах восстановления работоспособность моноблоков обеспечивается за счет ремонта сопрягаемых деталей (гильз, цилиндров, седел клапанов, направляющих клапанов и т.д.) или замены этих деталей новыми с селективным подбором по размерам баз.

Как при изготовлении новых моноблоков, так и при их ремонте после длительной эксплуатации обнаруженные дефекты и трещины можно устранять сваркой.

При этом методика построения технологического процесса восстановления моноблоков наплавкой или сваркой предусматривает реализацию следующих этапов: выбора сварочных материалов, подготовки дефектных мест под сварку, собственно сварки и контроля качества ее выполнения.

Для устранения дефектов и повреждений сваркой в моноблоках используют присадочный материал, отливаемый из того же сплава в металлические формы в виде прутков. Очистка этих прутков от грязи, жира и окисной пленки обеспечивается травлением, которое производят не ранее чем за одни сутки до их применения.

Порошко- или пастообразный флюс, состоящий из криолита 35% и хлористых калия 50% и натрия 15 %, перед употреблением разводят водой до консистенции сметанообразной массы и наносят тонким слоем на присадочные прутки за 2–2,5 ч перед сваркой. В качестве электрода при электродуговой сварке применяют графитовый стержень диаметром 15–20 мм.

Подготовка дефектных мест под сварку сводится к вырубке или зачистке дефектов и повреждений с последующей очисткой их от грязи и масла промывкой ацетоном, 10%-ным водным раствором едкого натра и водой. Технология сварки дефектных мест графитовым электродом на постоянном токе при прямой полярности (минус на электроде) и силе тока 120–500 А предусматривает предварительное расплавление основного металла, а затем ввод в сварочную ванну присадочного материала.

Устранение сквозных дефектов сваркой производят с обязательной подформовкой графитовыми прокладками, сухим асбестом и т.д. Контроль качества сварки дефектов на моноблоках осуществляют гидравлическими испытаниями, а в отдельных случаях, если позволяют технические возможности предприятий, по требованию отдела технического контроля (ОТК) может выполняться рентгенопросвечивание восстановленных участков.

В соответствии с технологической схемой ремонт моноблоков предусматривает полный комплекс работ по восстановлению работоспособности собственно моноблоков и замене гильз цилиндров. В последнем случае для выпрессовки гильз моноблок предварительно нагревают до температуры 100–110°C и после этого специальным приспособлением гильзу извлекают из моноблока.

Перед постановкой новой гильзы на основании микрометрических измерений фактических размеров гнезд моноблока и наружных диаметров посадочных поясков гильз осуществляют селективный подбор деталей таким образом, чтобы обеспечить натяг в соединении до 0,30 мм. Запрессовывают гильзу в моноблок по схеме сборки

поперечно-прессовых соединений, т.е. с нагревом моноблока до температур 100–110° С и охлаждением гильзы в жидком азоте или на воздухе.

Сборку и затяжку резьбового соединения дополнительного крепления гильзы в моноблоке выполняют в два приема: сначала с подогревом узла до температуры 50° С, а затем окончательная затяжка при температуре деталей на 30–40° С выше первоначальной.

Качество отремонтированных моноблоков контролируют измерением овальности гильз, установленных в гнезда моноблока, и проведением гидравлических испытаний собранного узла водой при температуре 80–90°С, давлением 0,4 атм в течение не менее 5 мин. Как и при гидравлических испытаниях любых ответственных деталей отпотевание, течь и просачивание воды через уплотнения и основной металл не допускаются.

Основными дефектами крышек цилиндров, появляющимися в эксплуатации, являются: трещины на нижнем донышке крышки и вертикальных стенках, выгорание и наклепы уплотнительных фасок седел клапанов, приводящие к нарушению плотности прилегания клапана к седлу, и отложения накипи на внутренних стенках полостей, охлаждаемых водой.

Трещины на донышке или вертикальных стенках обнаруживают визуально или гидравлическими испытаниями. Днище со стороны камеры сгорания испытывают при давлении  $1,5p_r$  ( $p_r$  – максимальное давление цикла в цилиндре), каналы для пускового воздуха – при давлении 4–5 атм и водяные полости – при давлении 0,5 атм.

Течь и отпотевание стенок крышек цилиндров не допускается. При этом любые трещины на нижнем донышке являются браковочным признаком и крышки цилиндров с такими дефектами не ремонтируют, а заменяют новыми. Трещины на вертикальных стенках крышек в зависимости от размеров и расположения в отдельных случаях по специальному согласованию с технологическими и контролирующими службами можно устранять сваркой.

Обнаружение трещины в практических условиях является заключительной операцией дефектации, и обычно ей предшествует очистка крышки от накипи, нагара и других отложений на стенках, омываемых охлаждающей водой.

Выгорание и наклеп уплотнительных фасок седел клапанов является наиболее характерным дефектом для седел выпускных клапанов, поскольку они в большей степени подвержены газовой коррозии из-за высоких скоростей истечения и температуры отработавших газов. Эти дефекты при ремонте устраняют зенкерованием с последующей притиркой клапанов.

Зенкерование выполняют на вертикально-сверлильных станках специальными зенкерами, имеющими переднюю направляющую, которая обеспечивает строгую ориентацию инструмента относительно оси направляющей втулки клапана.

Притирка клапанов – типичная технологическая операция как при изготовлении, так и ремонте дизелей. И в том и в другом производстве ее выполняют после запрессовки в крышку направляющей втулки на специальных многоместных станках.

Кинематически эти станки оборудованы так, что позволяют благодаря сочетанию возвратно-поступательного (ударного) и возвратно-вращательного движений клапана в седле получать высокое качество притирки при достаточной производительности

процесса. Для притирки могут быть использованы такие же абразивные пласты, что и при ремонте деталей топливной аппаратуры.

Качество притирки клапана к седлу оценивается либо визуально по однотонному цвету контактного пояса, либо наливом керосина на клапан изнутри крышки цилиндра: при удовлетворительной притирке керосин не должен проникать между клапаном и седлом.

Незначительные искажения геометрических форм и размеров рабочих поверхностей направляющих втулок клапанов могут быть устранены развертыванием с последующей перекомплектацией клапанов. В противном случае направляющие втулки подлежат замене на новые с обеспечением регламентируемых зазоров в соединении с клапаном.

### **Ремонт коленчатых валов**

Коленчатые валы являются наиболее ответственными деталями дизелей, техническим состоянием которых обуславливаются сроки службы не только узлов «коленчатый вал–подшипники», но и ресурс дизеля в целом. Другими словами, необходимость постановки дизелей в капитальный ремонт определяется предельными значениями износов коленчатых валов и их подшипников.

Поэтому к качеству выполнения всех этапов производственного цикла ремонта этих деталей предъявляются исключительно жесткие требования в отношении как точности оценки фактического технического состояния валов по макро- и микродефектам (поверхностным и подповерхностным), так и выбора оптимальных методов их обнаружения и устранения.

Из всего многообразия износов при анализе и оценке технического состояния коленчатых валов обычно в качестве ведущих (основных) выделяют:

1. износы, проявляющиеся в виде уменьшения первоначальных размеров, искажений формы (овализация, конусность и т.д.), а также нарушения заданного взаимного расположения баз, например, относительных биений коренных шеек и т. д.;
2. образование микрорельефа коренных и шатунных шеек с параметрами шероховатости, большими допустимых;
3. чрезмерные остаточные прогибы валов;
4. повреждения отдельных элементов коленчатых валов в виде макро- и микротрещин.

При выборе и разработке технологической последовательности ремонта как правило, руководствуются прежде всего специфическими конструкторско-технологическими особенностями коленчатых валов ВОД и МОД, которые обуславливают качественные и количественные различия фактических износов баз и принципиально отличные схемы окончательной механической обработки для устранения этих износов.

Основная особенность коленчатых валов ВОД состоит в том, что для повышения износостойкости рабочие поверхности коренных и шатунных шеек упрочняют термической (поверхностной закалкой) или химико-термической обработкой (азотированием). Благодаря повышенной поверхностной твердости шеек до HRC45 в случае закалки токами высокой частоты (ТВЧ) износы и искажения размеров, формы и

взаимного расположения баз оказываются относительно небольшими, зачастую соизмеримыми с численными значениями тех предельных отклонений, которые регламентируются рабочей технологической документацией на изготовление этих деталей.

Такое положение выдвигает более жесткие требования к степени точности оценки фактических износов и средствам технических измерений эксплуатационных дефектов при дефектации и аналогичных производственных погрешностей ремонта при контрольных проверках коленчатых валов после окончательной механической обработки.

Известные методики обнаружения геометрических искажений шеек коленчатых валов в практических условиях базируются на измерениях интересующих размеров универсальными измерительными инструментами (микрометрами, индикаторами часового типа и т.д.). При этом места и схемы контрольных измерений обычно определяются соответствующими стандартами или другими руководящими техническими материалами (тех-ническими условиями на ремонт, инструкциями и т.д.) применительно к каждому конкретному дизелю или группе однотипных дизелей.

При дефектации и послеремонтных контрольных проверках коленчатых валов судовых дизелей оценивают следующие геометрические параметры этих деталей (на примере коленчатых валов дизелей типа М400, М401 и т. д.): 1-овальность коренных и шатунных шеек и относительное смещение или биение коренных шеек.

Овальность коренных и шатунных шеек определяют измерениями их фактических размеров микрометрами с точностью до 0,01 мм в средних сечениях по длине шеек (рисунок 1.64) и в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, расположенных одинаково для каждого кривошипа.

Результаты таких измерений позволяют, помимо определения путем очевидных расчетов фактической овальности шеек и сравнения ее с предельно допустимыми размерами 0,02–0,03 мм, оценивать также изменение их собственно диаметральных размеров, если такая оценка окажется необходимой. Измерение конусности шеек коленчатых валов ВОД является, как правило, необязательным из-за малой длины этих шеек.

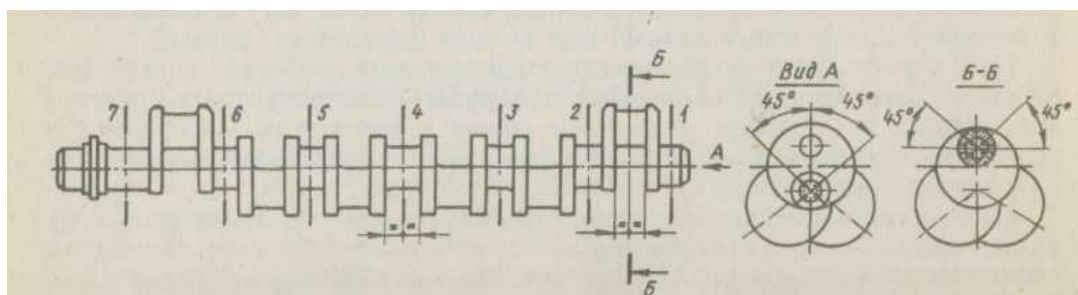
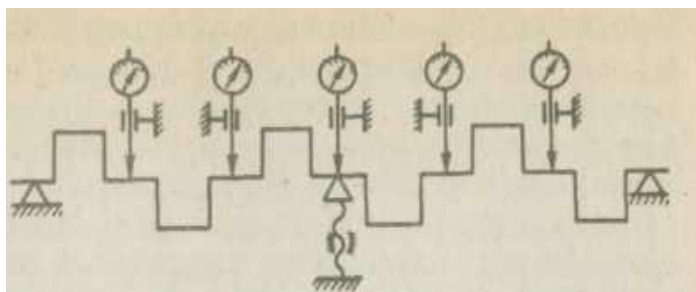


Рисунок 1.64 – Схема дефектации шатунных и коренных шеек коленчатых валов

Биение шеек чаще всего регламентируется в виде двух предельных значений, а именно:

1. в виде предельных биений соседних шеек (обычно не более 0,02 мм);
2. биений любых шеек в пределах всего вала до 0,05 мм.

Проверка биений коренных шеек по ГОСТ 10158–76 с Дизели и двигатели газовые. Валы коленчатые стальные» предусматривается для коленчатых валов с тремя – шестью кривошипами на двух постоянных призматических опорах (рисунок 1.65), которые устанавливают под концевые шейки, и одной регулируемой, всегда подводимой под четвертую шейку, индикаторами часового типа (абсолютной погрешности измерений 0,01 мм) в средних сечениях каждой шейки.



**Рисунок 1.65 – Схема измерения биения коренных шеек коленчатых валов**

Биение коренных шеек при такой схеме измерений представляет собой комплексный параметр, включающий отклонения формы и погрешности во взаимном расположении шеек, которые появляются в результате остаточных прогибов валов и потому достаточно полно характеризуют истинное техническое состояние того или иного коленчатого вала.

Другой особенностью коленчатых валов ВОД и прежде всего валов с поверхностной закалкой коренных и шатунных шеек является их большая чувствительность к изменениям температурных условий в процессе эксплуатации и, как следствие этого, большая вероятность образования у таких валов поверхностных и подповерхностных микротрещин, обнаружить которые при дефектации можно только специальными методами физического неразрушающего контроля.

Наибольшее распространение на судоремонтных предприятиях для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов на шейках коленчатых валов как при дефектации, так и на контрольных послеремонтных операциях имеет магнитно-порошковый метод.

С этой целью используют универсальные стационарные магнитные дефектоскопы типа УМДЭ-10000М со специальными удлиняющими приставками, большим преимущество которых является то, что они позволяют осуществлять обязательное последующее размагничивание контролируемых деталей без снятия и переустановки их на дефектоскопе.

Обнаружение макротрещин и других макродефектов на ответственных поверхностях коленчатых валов производят визуально.

Восстановление требуемых по техническим условиям на ремонт точностных параметров коленчатых валов ВОД обеспечивается только механической обработкой «на годность» путем полирования рабочих шеек до тех пор, пока не удастся обеспечить оптимальную шероховатость баз и устранить чрезмерно большие овальности и биения коренных шеек при сохранении их диаметральных размеров в заданных пределах. При этом любые виды правок коленчатых валов недопустимы.

Не менее важными факторами, помимо относительно малых износов, обуславливающими необходимость отказа при ремонте, особенно азотированных валов, от шлифования их на ремонтные размеры и перехода к восстановлению полированием «на годность», является то, что, во-первых, процесс шлифования всегда сопровождается образованием в поверхностных слоях обрабатываемых деталей растягивающих напряжений, которые, как известно, отрицательно сказываются на усталостной прочности металла при его знакопеременных нагружениях; во-вторых, твердость азотированного слоя по глубине гиперболически снижается и, следовательно, удаление даже небольших припусков механическим путем может привести к недопустимому снижению износостойкости таких валов.

Для коленчатых валов, шейки которых подвергнуты поверхностной закалке ТВЧ, последнее обстоятельство является существенно менее значимым из-за большой толщины закаленного слоя и равномерности распределения твердости его по глубине. Это позволяет восстанавливать шейки по системе ремонтных размеров и в ряде случаев эффективно использовать такие свойства поверхностно-закаленных валов для устранения небольших макротрещин на коренных и шатунных шейках путем сошлифования требуемых толщин металла.

В то же время склонность указанных валов к образованию остаточных растягивающих напряжений в поверхностных слоях, прижогов и шлифовочных трещин заметно выше. Образование больших остаточных напряжений первого рода, охватывающих макрообъемы, объясняется, в частности, тем, что процессу шлифования сопутствуют высокие локальные тепловложения в тонкие поверхностные слои детали, которые приводят к структурным превращениям металла и объемным изменениям его.

Действительно, мартенситная структура, которая, как известно, формируется при закалке и имеет максимальную плотность под действием высоких температур и охлаждения на воздух после шлифования, распадается на тростито-сорбитную структуру с одновременным увеличением процентного содержания аустенита, который имеет наименьшую плотность. При этих условиях поверхностные слои, уменьшаясь в объеме, стремятся сжаться. Однако такому сжатию препятствуют подповерхностные слои с мартенситной структурой и большей плотностью, в результате чего и появляются значительные растягивающие напряжения.

Вот почему при ремонте коленчатых валов, коренные и шатунные шейки которых подвергнуты поверхностной закалке ТВЧ, режимы шлифования, если такое и производится, например, для устранения трещин, требуют особенно строгой их оптимизации.

Коленчатые валы МОД в отличие от валов ВОД изготавливают с коренными и шатунными шейками, не подвергаемыми ни поверхностной закалке, ни тем более азотированию. В результате при прочих равных условиях износы шеек этих валов значительно больше, чем у шеек валов ВОД, и для их устранения оказывается совершенно недостаточным только полирование.

Однако и при ремонте коленчатых валов МОД механическую обработку (точение или шлифование) можно выполнять как «на годность», так и по системе ремонтных размеров причем, если первый из этих методов достаточно распространен при ремонте дизелей в судовых условиях или сугубо единичном ремонтном производстве, то при

ремонте дизелей в специализированных цехах наибольшее применение находит механическая обработка шеек валов по системе ремонтных размеров.

Дефектация крупных коленчатых валов МОД практически ничем не отличается от дефектации валов ВОД как по номенклатуре контролируемых параметров износов и повреждений, так и по методике ее выполнения. Более того, при ремонте валов по системе ремонтных размеров в ряде случаев имеют место объективные предпосылки к тому, чтобы вообще отказаться от выявления всех дефектов, кроме макро- и микротрещин. Действительно, речь идет о том, что общий припуск на механическую обработку при таком ремонте почти на порядок превышает износы шеек коленчатых валов по овальности, конусности, уменьшению размеров и фактическому биению коренных шеек и, следовательно, выявление всех этих искажений по существу ни к чему не приводит.

Независимо от их численных значений обтачивание или шлифование шеек осуществляется до ближайшего ремонтного размера. Все это тем более очевидно, так, как и в случае ремонта ВОД правка коленчатых валов малооборотных дизелей является недопустимой и единственным направлением устранения даже больших износов (в том числе и остаточных прогибов) остается механическая обработка.



## **Ремонт коленчатых валов механической обработкой**

Из всех видов механической обработки при восстановлении точностных параметров шеек коленчатых валов МОД применяют:

1. наружное точение на токарных станках универсальными и широколезвийными резцами;
2. шлифование на специальных круглошлифовальных станках.

Точение коренных шеек универсальными резцами представляет наиболее простой и доступный метод механической обработки, особенно в условиях ограниченного парка станочного оборудования. Однако относительно низкие экономические показатели такого процесса из-за неизбежного последующего полирования для обеспечения заданной шероховатости рабочих поверхностей шеек делают его, по крайней мере в теоретическом отношении, малопроизводительным.

Сущность обработки коренных шеек крупногабаритных коленчатых валов широколезвийными резцами состоит в том, что припуск на механическую обработку снимают специальными резцами, ширина которых точно равна длине обтачиваемой шейки, путем микрометрической поперечной подачи их (по аналогии с врезным шлифованием). При этом микрорезание можно осуществлять и без дополнительной подачи – только за счет образующего на резце нароста.

Точение шатунных шеек больших валов выполняют либо на специальных станках с вращающейся планшайбой, либо, на токарных модернизированных станках с помощью специальных вращающихся резцовых головок, устанавливаемых на продольных суппортах станков. При такой обработке коленчатый вал остается неподвижным, а все необходимые рабочие движения совершает режущий инструмент.

Более производительным и перспективным, характерным для технологии восстановления коленчатых валов механической обработкой в современных специализированных дизелеремонтных цехах является шлифование коренных и шатунных шеек.

Для этих целей используют специальные круглошлифовальные станки, например, ХШ-335-Н16 – при шлифовании ремонтных шеек и ЗА428Н25 – при шлифовании шатунных.

С точки зрения техники выполнения собственно механической обработки как при точении, так и при шлифовании коленчатых валов во время их изготовления или ремонта больших принципиальных различий с аналогичной обработкой других деталей машиностроения или машиноремонта практически нет.

Однако базирование коленчатых валов на станках, и выверка перед обработкой или регулировка при выполнении технологической операции отличаются специфическими особенностями. Главная из этих особенностей состоит в выборе критерия оценки наиболее правильного положения коленчатого вала на станке в процессе обработки, т.е. в выборе рациональной схемы базирования его.

Для крупных коленчатых валов это обстоятельство является весьма существенным из-за их меньшей относительной жесткости по сравнению с коленчатыми валами ВОД.

В литературе и на практике различают четыре метода базирования и выверки (регулирования) коленчатых валов на станках при механической обработке:

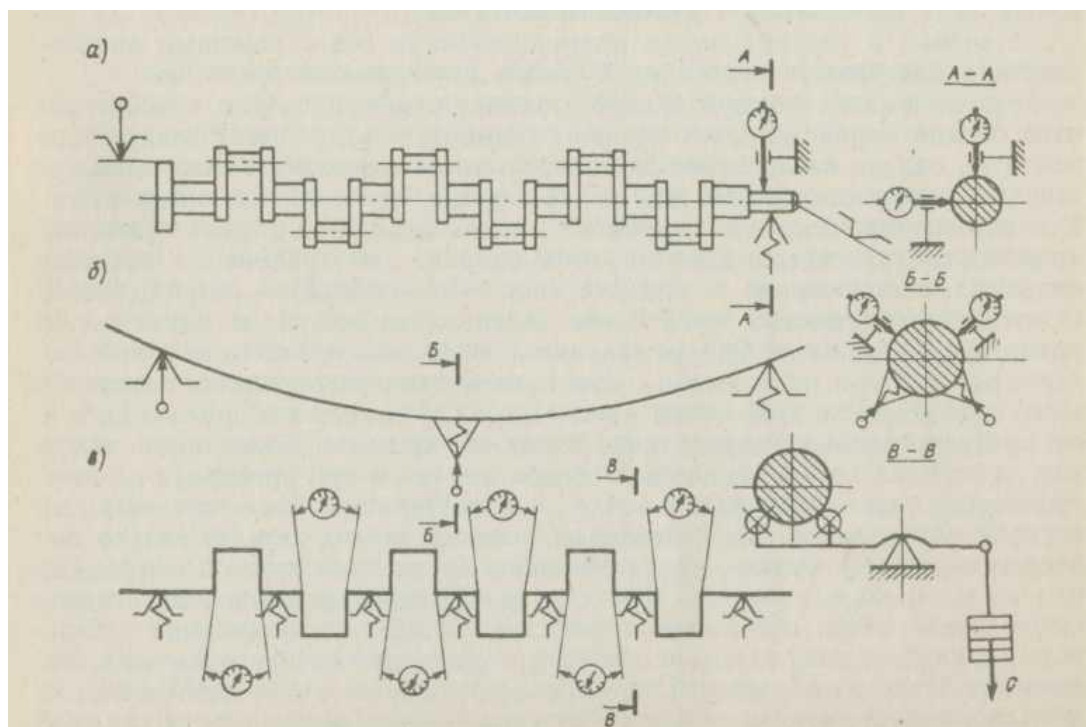
- на призматических постоянных и регулируемых опорах, количество которых зависит от числа кривошипов, а схема установки регламентируется ГОСТ 10158–76;
- в патроне и на люнетах по методу Н.Ф. Рукавишникова;
- в патроне или на призматических постоянных опорах с выверкой положения вала по нулевым статическим раскепам;
- установки и регулирования прямолинейности оси с помощью автоматических адаптивных систем по нулевым динамическим раскепам.

Первый из этих методов предусматривается для проверки относительного биения коренных шеек после их обработки (при изготовлении или ремонте), однако на практике он распространяется автоматически и на установку коленчатых валов для механической обработки коренных шеек. Как и в случае коленчатых валов ВОД коленчатые валы с тремя – шестью кривошипами устанавливают на трех опорах, две крайние из которых являются постоянными, а средняя (под 4-ой шейкой) – регулируемой. Основное преимущество такой схемы базирования состоит в очевидной ее простоте и доступности. Однако сравнительно малая жесткость крупных коленчатых валов и их большая гибкость зачастую определяют недостаточную надежность этой схемы и вынуждают обращаться к другим, хотя и не предусмотренным стандартами, методам установки коленчатых валов как на станках при механической обработке, так и при проверках на контрольных плитах. Надо иметь в виду, что проверять биения коренных шеек коленчатых валов или посадочных поясков других деталей можно непосредственно на станке, после выполнения технологической операции, или на контрольных плитах. При этом всегда наибольшая точность измерений имеет место при таких проверках, когда контролируемая деталь установлена в призматические опоры, в отличие от случаев измерения биений при базировании деталей в центрах, так как здесь на прямолинейность вала, а, следовательно, и на биение сильное влияние оказывает усилие поджатия заднего центра (если, скажем, передний центр является жестким). Для ответственных деталей проверки биений баз в центрах следует по возможности избегать.

Сущность установки коленчатых валов на токарных или шлифовальных станках по методу Н.Ф. Рукавишникова состоит в том, что за базу для регулирования вала на промежуточных поддерживающих люнетах при выверке и обработке коренных шеек принимают, естественно, упруго изогнутую под действием собственного веса ось вала, установленного на двух концевых опорах.

При этом фланцевый конец коленчатого вала (рисунок 1.66) закрепляют в патроне станка после предварительной выверки с помощью индикатора часового типа по посадочному пояску под шестерню газораспределения. Посадочный пояскас в процессе эксплуатации практически не изнашивается и не изменяет своей формы и взаимного расположения относительно оси вала. Под другую концевую коренную шейку подводят люнет таким образом, чтобы базирование осуществлялось по нерабочему пояску этой шейки, и последовательными регулировками кулачков люнетов добиваются такого положения вала, при котором его центровое отверстие точно согласуется с задним центром станка. Контроль положения вала при регулировке концевого люнета выполняют также двумя индикаторами часового типа (рис. 93, а), измеряющими

смещения шейки вала в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Совпадение оси вала с линией центров станка считается удовлетворительным в том случае, если при поджатии заднего центра оба индикатора не изменяют своих показаний.



*а и б* – по методу Н.Ф. Рукавишникова; *в* – по нулевым раскепам

**Рисунок 1.66 – Схемы установки коленчатых валов на станках для шлифования коренных шеек**

Очередной этап подготовки вала к обработке при этом методе установки состоит в протачивании или шлифовании базового пояска на средней шейке для установки промежуточного поддерживающего люнета. С этой целью при фиксированном положении коленчатого вала (например, при вертикальном расположении шеек первого кривошипа) под среднюю шейку подводят кулачки люнета таким образом, чтобы обеспечивался надежный контакт между шейкой и опорными поверхностями кулачков, а также были выбраны естественные люфты в люнете. Практически эту регулировку можно считать законченной тогда, когда показания индикаторов, расположенных в плоскости перемещения кулачков люнета (рисунок 1.66, *б*), изменяются не более чем на 0,02 мм. В таком положении производят механическую обработку посадочного пояска «как число», а после дополнительной подрегулировки среднего люнета и остальных коренных шеек. При необходимости под другие шейки коленчатого вала могут быть установлены дополнительные люнеты по аналогичной методике их регулирования и фиксирования.

Метод базирования коленчатых валов с выверкой их положения на станке по нулевым статическим раскепам основывается на том, что перед механической обработкой с помощью люнетов или специальных поддерживающих устройств добиваются строгой прямолинейности оси вала, отклонение от которой для каждого кривошипа оценивают по раскепам. Для этого коленчатый вал так же, как и в

предыдущем случае, предварительно выставляют на станке по базовым поясам фланца и концевой опоры. Затем между щеками каждого кривошипа устанавливают индикаторные приборы для измерения расхождений щек, а под коренные шейки подводят роликовые опоры рычажных поддерживающих устройств (рисунок 1.66, в). Изменением массы грузов на подвесках этих устройств обеспечивают такой восстанавливающий прогиб коленчатого вала, при котором поворот вала на станке вокруг оси не будет вызывать изменений показаний индикаторных приборов, т.е. раскепы будут равны нулю, а ось вала станет прямолинейной. В отлаженном технологическом процессе ремонта коленчатых валов того или иного дизеля массы грузов, необходимых для обеспечения нулевых раскепов всех кривошипов, могут быть определены экспериментальным путем и зафиксированы в рабочей технической документации. Тем самым существенно сократятся затраты вспомогательного времени на выполнение операции обтачивания или шлифования коренных шеек.

Метод установки и регулирования прямолинейности оси коленчатого вала с помощью автоматических адаптивных систем по нулевым динамическим раскепам представляет собой отражение наиболее современного подхода к технологии шлифования (обтачивания) коренных шеек и обеспечивает наилучшие качественные показатели обработанных поверхностей. Объясняется это прежде всего тем, что при таком подходе в качестве регулируемого параметра технологии шлифования принимают динамический упругий прогиб, т.е. параметр, достаточно строго характеризующий фактическое состояние обрабатываемого коленчатого вала. Другое преимущество метода базируется на достоверности математической модели или математического описания взаимосвязи входных и выходных переменных, описывающих процесс обработки. Иными словами, поскольку шлифование коренных шеек в этом случае может рассматриваться как объект автоматического управления, то задача необходимой модернизации шлифовальных станков в этих случаях должна решаться на основании математической модели. Под ней понимается некоторый оператор  $F$ , указывающий совокупность действий, осуществление которых позволяет по заданной входной функции  $x_0(t)$  найти выходную величину  $x_B(t) = Fx_0(t)$ .

Принимая по определению метода в качестве входной функции расхождение щек постоянным, т.е. полагая раскеп  $A(t) = 0$ , а в качестве выходной – нагрузку на поддерживающие промежуточные люнеты  $P(t)$ , будем иметь  $P(t) = F\Delta(t)$ .

В общем случае операторы линейных объектов, устанавливающие соответствие между выходными и входными переменными, могут быть представлены в динамике графиками изменения выходной величины при возмущающем воздействии входной переменной (так называемыми импульсными переходными функциями), частотными характеристиками, дифференциальными уравнениями вида:

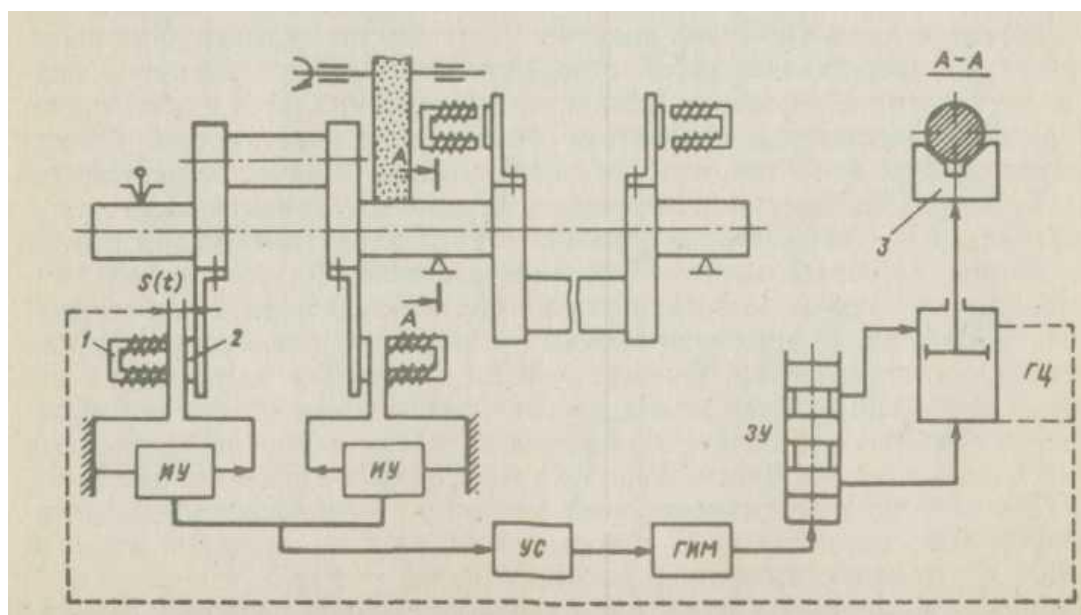
$$\sum_{i=0}^n a_i(t) \left[ \frac{d^i x_0(t)}{dt^i} \right] = \sum_{i=0}^m b_i(t) \left[ \frac{d^i x_B(t)}{dt^i} \right] \quad (1.50)$$

где  $a_i(t)$  и  $b_i(t)$  – параметры математической модели.

Все три указанных математических описания эквивалентны, а на практике использование любого из них определяется более частными соображениями о

целесообразности применения при анализе и синтезе той или иной системы автоматического управления, например, шлифованием коренных шеек коленчатых валов с обеспечением строгой прямолинейности их осей в процессе выполнения технологической операции.

Функциональная схема системы стабилизации упругих прогибов коленчатых валов при шлифовании коренных шеек по нулевым динамическим раскепам (рисунок 1.67) дает наглядное представление о технике искомой реализации. Из ее рассмотрения видно, что поскольку индуктивные датчики *1* установлены неподвижно на станине станка, то дискретные сигналы  $S(t)$  от каждой пары датчиков через измерительное устройство ИУ и усилитель УС, в котором они усиливаются до необходимой мощности, поступают на гидравлический исполнительный механизм РИМ. Последний через золотниковое устройство ЗУ управляет гидравлическим цилиндром ГЦ и призматической опорой *3* таким образом, что в любой момент времени, соответствующий прохождению якоря *2* датчиков над катушкой индуктивности, осуществляется регулировка положения вала до требуемого значения  $S(t)$ . Постоянная обратная связь (пунктирная линия на рисунке) обеспечивает достаточную адаптивность такой системы и высокую точность обработки.



*1* – индуктивный датчик; *2* – якорь; *3* – опора

**Рисунок 1.67 – Функциональная схема стабилизации упругих прогибов коленчатых валов по нулевым раскепам при шлифовании**

Для повышения усталостной прочности коленчатых валов, особенно по галтелям коренных шеек, как при изготовлении новых, так и при ремонте валов широкое практическое применение находят методы пластического деформирования в холодном состоянии этих наиболее ответственных участков кривошипов, т. е. накатывание роликами, упрочнение шариками и т.д.

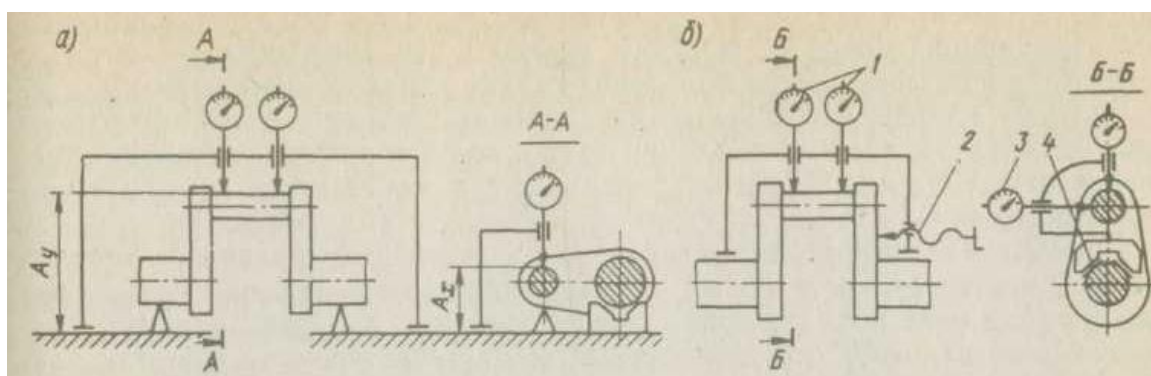
Восстановление точности шатунных шеек коленчатых валов при ремонте наряду с удовлетворением требований по шероховатости, форме шеек и точности размеров должно обеспечивать правильное взаимное расположение их осей относительно оси

коренных шеек по непараллельности и перекосу, численные предельные значения которых всегда регламентируются рабочей технической документацией столь же строго, как и другие параметры. Например, для коленчатых валов дизелей 6ЧНСП18/22 эти значения составляют 0,015 мм на 100 мм длины.

Возможность удовлетворения таких требований при шлифовании (точении) шатунных шеек определяется прежде всего выбором надежного метода установки и обеспечения достаточной точности выверки коленчатого вала перед обработкой. Наиболее распространенной и в этом случае является установка валов концевыми коренными шейками в призматические опоры, оси которых смещены относительно линии центров станка на величину радиуса кривошипа.

Контролировать взаимное расположение осей коренных и шатунных шеек можно либо универсальным способом, либо специальными индикаторными приборами

При проверке непараллельности и перекоса шеек универсальным способом (рисунок 1.68, а) коленчатый вал устанавливают в призматические опоры параллельно контрольной плите и индикатором часового типа измеряют расстояния  $A_x$  и  $A_y$ , по которым и рассчитывают соответственно фактические перекося и непараллельность рассматриваемых осей. Основное преимущество такой проверки в ее доступности для практического использования, однако, как и все методы универсальных измерений, она достаточно трудоемка.



а – универсальным способом; б – индикаторным прибором

**Рисунок 1.68 – Схемы измерения взаимного расположения осей шатунных и коренных шеек коленчатых валов**

Измерение отклонений шеек от идеального положения специальными индикаторными приборами существенно упрощает технику их оценки, так как в этом случае за один прием удастся определить численные значения и непараллельности, и перекося осей коренных и шатунных шеек.

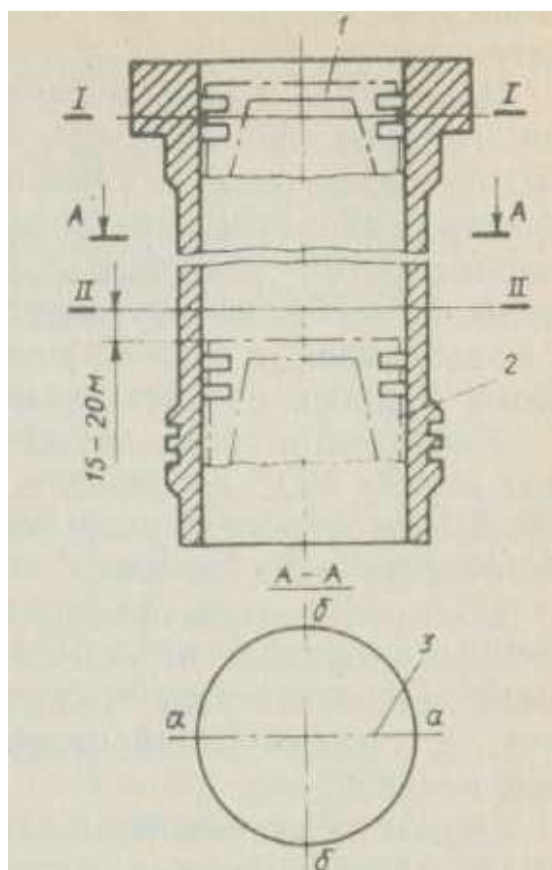
**Искажения геометрической формы и размеров внутренней поверхности** определяются микрометрическими измерениями. По существующей методике оценки технического состояния цилиндро-поршневой группы дизелей в эксплуатации и при ремонте эти измерения производят в двух поясах (рисунок 1.69), первый из которых I–I находится между двумя верхними компрессионными кольцами при условном положении поршня в верхней мертвой точке (в.м.т.), а второй II–II – на 15–20 мм выше доньшка поршня при положении кривошипно-шатунного механизма в нижней мертвой точке (н.м.т.). В каждом из этих поясов измерения выполняют в двух взаимно



перпендикулярных направлениях  $a-a$  и  $b-b$ . В результате таких измерений рассчитывают фактическую овальность, которую и сравнивают с допускаемой по техническим условиям на ремонт. Аналогично оценивают пригодность втулки для дальнейшего использования по увеличению диаметральных размеров внутренней поверхности.

Ремонт цилиндрических втулок МОД наиболее часто сводится к замене их новыми.

В тех же случаях, когда прибегают к восстановлению работоспособности втулок, бывших в эксплуатации, то из известных методов восстановления выбирают ремонт механической обработкой по системе ремонтных размеров или наращивание металла напылением наружных (посадочных) поясков и железнением внутренней поверхности с последующей механической обработкой.



1 – поршень в в.м.т.; 2 – поршень в н.м.т.; 3 – ось коленчатого вала

**Рисунок 1.69 – Пояса измерений цилиндрических втулок при дефектации**

Ремонт втулок механической обработкой по системе ремонтных размеров является пригодным для восстановления как внутренней, так и наружной поверхностей, потому что для большинства марок серийных дизелей, устанавливаемых на судах речного транспорта, разработана и действует система ремонтных размеров.

Технологический процесс восстановления внутренней поверхности включает в себя растачивание и обязательное хонингование для обеспечения заданной точности по размерам, их предельным отклонениям, а также по форме этой поверхности в продольном и поперечном сечениях.

Восстановление работоспособности втулок гальваническим наращиванием электролитическим железом (железнением) широко применяют для ремонта цилиндрических втулок небольших габаритов, как, например, в авторемонтной и тракторной промышленности.

На судоремонтных предприятиях этот процесс практического применения пока не находит так же, как и металлизационное напыление посадочных поясков.

Цилиндровые втулки ВОД не ремонтируют и всегда заменяют новыми. Объясняется это тем, что азотированный слой внутренней поверхности втулки составляет 0,4–0,8 мм и микротвердость в нем гиперболически падает по глубине. Иначе, любое уменьшение толщины азотированного слоя за счет шлифования втулки на ремонтный размер будет вызывать необходимость проведения новой химико-термической обработки.

Настройку индикаторов перед измерениями, как правило, производят по специальному калибру. Упорный винт 2 служит для регулирования положения прибора в осевом направлении и при постоянной его настройке обеспечивает проведение измерений в одних и тех же сечениях по длине шатунных шеек.

Ремонт коленчатых валов судовых дизелей наращиванием металла на рабочие поверхности коренных и шатунных шеек любым из известных методов его нанесения (наплавка, железнение и т.д.) практического применения не находит, хотя в авторемонтной промышленности известны случаи достаточно широкого использования для этих целей восстановления с помощью наплавки.

### **Ремонт втулок цилиндров**

*Цилиндровые втулки МОД и ВОД* отличаются друг от друга не только материалами, из которых их изготавливают, но в ряде случаев и конструктивным исполнением. Этими различиями обуславливают специфические особенности изнашивания цилиндрических втулок указанных дизелей и развития ведущих износов.

Действительно, наиболее характерными износами цилиндрических втулок являются искажения геометрической формы и размеров баз (внутренней рабочей поверхности, наружных посадочных поясков и т.д.), коррозионно-эрозионные разрушения наружных поверхностей, омываемых охлаждающей водой, которые, помимо ухудшения механической прочности, могут привести к нарушению сплошности металла и герметичности рабочего пространства цилиндров.

Природа образования коррозионно-эрозионных разрушений наружных поверхностей втулок цилиндров объясняется кавитационными явлениями, происходящими на этих поверхностях под действием вибрации стенки цилиндрической втулки. Вот почему втулки ВОД, изготавливаемые из легированных сталей марок 35ХМЮ и 38ХМЮА и конструктивно выполняемые при прочих равных условиях более тонкостенными, оказываются намного чувствительнее к вибрациям и, следовательно, к интенсивному кавитационному изнашиванию преимущественно наружной поверхности. Внутренняя рабочая поверхность втулок ВОД, подвергаемая при изготовлении химико-термической обработке (азотированию) и имеющая высокую поверхностную твердость ( $HV = 700–900$ ), является достаточно износостойкой. И,



наоборот, цилиндрические втулки МОД, изготавливаемые из серых чугунов, как правило, более толстостенные и устойчивые к действию вибрационных явлений.

Однако, несмотря на это коррозионных разрушений наружных поверхностей у таких втулок избежать не удастся. Язвенная коррозия поверхностей, омываемых охлаждающей водой, и посадочных поясков происходит, но скорость ее развития не превышает скоростей изнашивания внутренних поверхностей втулок МОД. Поэтому чаще всего в качестве ведущего износа для таких втулок цилиндров принимают износ внутренней рабочей поверхности (овалообразование и увеличение диаметральных размеров).

Обнаружение и оценку коррозионных разрушений цилиндрических втулок производят визуально, а в ряде случаев гидравлическими испытаниями. При этом любые отпотевания или течь являются браковочными признаками.

Повышение износостойкости цилиндрических втулок как при изготовлении, так и при ремонте дизелей осуществляется за счет реализации конструктивных и технологических мероприятий. К конструктивным относятся мероприятия, направленные на повышение жесткости самих втулок, и модернизация схем их установки и закрепления, которая привела, например, в дизелях типа М400 к переходу от блочной конструкции цилиндров и крышек к моноблочной, а также к новой конструкции собственно гильзы. Благодаря этому удалось снизить уровень вибрации и кавитационных разрушений.

Увеличения срока службы по коррозионному изнашиванию цилиндрических втулок МОД добиваются утолщением стенок и снижением тем самым при известных скоростях разрушения вероятности нарушения сплошности и герметичности этих деталей.

В последние годы предпринимаются попытки защиты наружных поверхностей цилиндрических втулок от коррозионно-эрозионных разрушений нанесением различного рода покрытий на основе резины, эпоксидных коатмундов и т.д. Однако до широкого практического внедрения эти методы защиты еще не доведены.

Одним из направлений повышения износостойкости цилиндрических втулок МОД является переход на окончательную обработку от хонингования к раскатыванию зеркала цилиндра, т. е. отказ от абразивного процесса с тем, чтобы исключить попадание микроскопических частиц абразива во впадины микрорельефа рабочей поверхности.

Пластическое деформирование внутренней поверхности цилиндрических втулок в холодном состоянии (раскатывание шариками или роликами) практически не уступает хонингованию по качественным параметрам обработанной поверхности. Более того, за счет применяемой технологической оснастки и соответствующего подбора сочетаний рабочих движений раскатыванием обеспечивается создание на поверхности обработки регулярного микрорельефа, способствующего более интенсивному удержанию смазочного материала.

### **Ремонт поршней**

Наиболее характерными *износами поршней судовых дизелей* являются искажения геометрических форм и размеров тронка, отверстия под поршневой палец, канавок под верхние компрессионные кольца, а также прогорание доньшка поршня.

Скорости изнашивания в пределах одной и той же детали существенно отличаются и тем самым превращают поршень в деталь с низкой вероятностью безотказной работы.

Для поршней ВОД, изготавливаемых из деформируемых алюминиевых сплавов, ведущими износами оказываются прогорание доньшка поршня, закоксовывание двух верхних канавок под поршневые кольца и износ этих канавок с увеличением торцевого зазора между канавкой и кольцом. Практически срок службы канавок под поршневые кольца для этих поршней составляет одну–две навигации, в то время как по другим изнашиваемым элементам сроки службы до ремонта значительно выше. Прогорание доньшка поршня является браковочным признаком.

Износ канавок и других конструктивных элементов при дефектации обнаруживается микрометрическими измерениями, и при износах, больше допускаемых по техническим условиям, поршень ремонтируют. Обычно, и особенно для поршней МОД с наддувом или без наддува, этот ремонт сводят к обработке канавок, тронка поршня и отверстия под поршневой палец по системе ремонтных размеров на ближайший ремонтный размер. Причем так же, как и при изготовлении новых поршней, основная характерная особенность технологического процесса состоит в использовании искусственной установочной базы для установки детали на станке, обеспечивающей соблюдение принципа постоянства баз при механической обработке.

Поскольку поршни после ремонта должны удовлетворять условию взаимозаменяемости, то к качеству восстановления геометрических характеристик всех конструктивных элементов предъявляются высокие технические требования. Особенно жестко эти требования регламентируются для отверстия под поршневой палец и удовлетворить их удастся только растачиванием поршней на алмазно-расточных станках.

Из методов восстановления поршней наращиванием металла на практике находят применение наплавка и анодное оксидирование канавок под кольца поршней из алюминиевых деформируемых и литейных сплавов.

Восстановление наплавкой предусматривает полное заполнение металлом двух верхних (а иногда и всех) канавок под поршневые кольца и последующую механическую обработку относительно искусственной установочной базы. Наиболее эффективна в этих случаях плазменная наплавка порошковой проволокой, легированной хромом и другими износостойкими материалами. Такой процесс может быть использован для повышения долговечности канавок поршней не только при восстановлении, но и в машиностроительном производстве при изготовлении новых деталей путем наплавки более износостойкого металла на предварительных этапах технологического процесса с последующей чистовой механической обработкой.

Анодное оксидирование (анодирование) как при изготовлении новых, так и при восстановлении изношенных поршней из алюминиевых сплавов преследует цель повышения износостойкости канавок для поршневых колец, поскольку оксидная пленка имеет твердость до НВ 600. Однако благодаря тому, что при анодировании на поверхности детали образуются пленки толщиной до 0,2 мм, этот процесс может обеспечивать и восстановление размеров торцовых поверхностей перемычек между канавками под поршневые кольца.

Для поверхностного упрочнения и повышения точности отверстий под поршневой палец иногда их обрабатывают импульсными раскатками (рисунок 1.70), обеспечивающими многократное дискретное деформирование за счет соответствующего профилирования оправки роликовой раскатки.



**Рисунок 1.70 – Импульсная роликовая раскатка**

### **Ремонт шатунов**

Шатуны судовых дизелей представляют собой конструкции, состоящие из стержня шатуна и крышки нижней половины вкладыша шатунного подшипника. В ряде случаев, особенно у МОД большой мощности, стержни шатунов выполняют разъемной конструкции в виде кривошипной головки и собственно стержня шатуна. Этим многообразием конструктивного исполнения и номенклатуры контактных поверхностей подвижных и неподвижных соединений подшипников шатунов, нижней головки и крышки шатунных вкладышей определяются разновидности износов, наиболее типичные для таких деталей.

Кроме того, шатуны в эксплуатационных условиях подвержены динамическим циклическим нагрузкам, способствующим образованию и развитию усталостного износа.

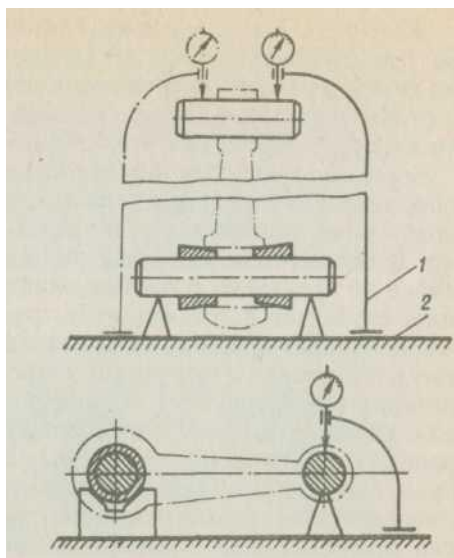
К ведущим износам шатунов относятся: искажения геометрической формы и размеров подшипников кривошипной и поршневой головок шатуна, плоскостности поверхностей разъема лапы шатуна с кривошипной головкой; ослабление посадки и искажения формы баз головки шатуна, а также отверстий под шатунные болты; нарушение требуемого взаимного расположения осей подшипников шатунов и баз поршневой (ПГШ) и кривошипной (КГШ) головок в результате искривления стержня шатуна; усталостные трещины на стержне шатуна.

Дефектация шатунов для выявления различных искажений формы и размеров подшипников кривошипной и поршневой головок шатуна сводится к микрометрическим измерениям фактической конусности, овальности и т. д., а также сопоставлению их числовых значений с допускаемыми отклонениями по техническим условиям.

При этом требования к жесткости контроля подшипников кривошипной головки шатуна существенно меньше, поскольку шатунные подшипники чаще всего при ремонте заменяют новыми. Подшипниковые втулки поршневой головки в случае небольших износов опорной поверхности и достаточной прочности их запрессовки в головку шатуна сохраняются без замены. Такая же последовательность дефектации и методика оценки пригодности шатунов без ремонта имеют место при выявлении геометрических искажений формы и размеров отверстий в обеих головках шатуна.

Нарушения плоскостности поверхностей разъемов лапы шатуна и его кривошипной объемной головки, появляющиеся вследствие наклепа как при дефектации, так и после ремонта, проверяют по контрольной плите на краску.

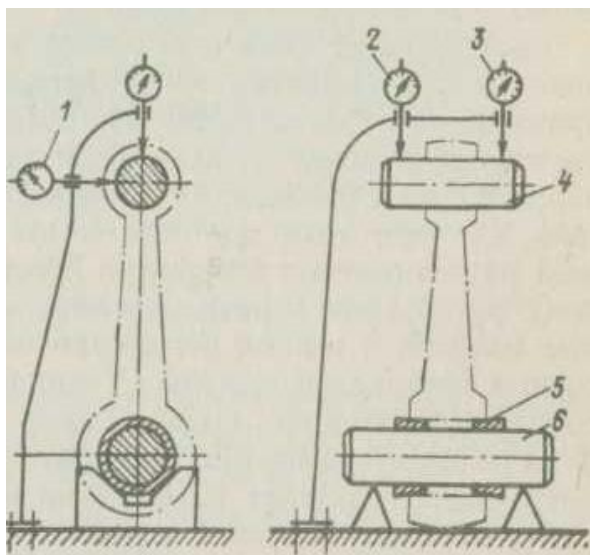
Проверяют искривления стержня шатуна измерением фактических значений непараллельности и перекоса осей подшипников. Эти измерения обычно выполняют либо универсальным способом на контрольной плите (рисунок 1.71), либо специальными индикаторными приборами (рисунок 1.72). Основной особенностью таких измерений является использование вспомогательных измерительных баз в виде контрольных валиков.



*1* – индикаторная стойка; *2* – контрольная плита

**Рисунок 1.71 – Схема измерения взаимного расположения осей подшипников шатуна универсальным способом**

Проверке искривления стержня шатуна в специальных приспособлениях всегда предшествует настройка этих приборов. Она сводится к установлению одинаковых показаний индикаторов 2 и 3 (см. рисунок 1.72) для измерения непараллельности осей относительно базового контрольного валика *б*, и настройка на ноль индикатора *1* для измерения перекоса осей относительно контрольного упора, расположенного в горизонтальной плоскости, которая проходит через ось втулки ПГШ.



**Рисунок 1.72 – Схема измерения взаимного расположения осей подшипников шатуна индикаторным прибором**

Конусные контрольные втулки 5 обеспечивают компенсацию износов шатунных подшипников, строго говоря, различных для каждого отдельного шатуна. Фактические значения непараллельности осей подшипников определяют, как разность показаний индикаторов 2 и 3, опирающихся на контрольный валик 4, а перекоса этих же осей по отклонениям стрелки индикатора 1. Усталостные трещины на стержнях шатунов, являющиеся наиболее характерными износами шатунов ВОД, при дефектации выявляют магнитно-порошковым методом контроля.

Получению надежных и достоверных результатов по обнаружению трещин на шатунах ВОД способствует то, что поверхности этих деталей при изготовлении полируют с целью устранения возможных концентраций напряжений, присущих технологической шероховатости. Магнитно-порошковый контроль шатунов, например, дизелей марки М400 производят на дефектоскопах УМДЭ-2500 с использованием циркулярного и комбинированного в приложенном поле способов намагничивания. Выбор этих способов намагничивания объясняется общими характерными закономерностями ориентации возможных дефектов в шатунах. Первый из указанных способов намагничивания применяют для выявления трещин в головках шатунов, а второй – непосредственно в стержне.

При магнитно-порошковом контроле шатунов всегда необходимо стремиться к тому, чтобы напряженность магнитного поля во всех точках контролируемой детали была приблизительно одинаковой. Это нужно для обеспечения одинаковой чувствительности на каждом участке детали. На дефектоскоп шатуны поступают в сборе с крышкой, но без вкладышей подшипников после обязательной очистки без следов смазочного материала, нагара и цветов побежалости. Трещины на шатунах являются недопустимыми дефектами, поэтому в случае их обнаружения контролируемая деталь выбраковывается.

Заключительной операцией дефектации шатунов магнитно-порошковым методом, как и обычно, является размагничивание детали в камере размагничивания или на дефектоскопе.

Ремонт шатунов предусматривает восстановление точности баз по форме, размерам, шероховатости и взаимному расположению осей подшипников

Ремонт шатунов в большинстве своем сводится к ремонту механической обработкой.

Жесткость технических требований к ремонту шатунов обуславливается тем, что эти детали являются взаимозаменяемыми, а, следовательно, сочетание любой из них с сопрягаемыми поршневыми пальцами и коленчатыми валами без всякого подбора должно автоматически обеспечивать качество шатунно-поршневых узлов на сборке.

Восстановление баз под вкладыши шатунных подшипников и втулки поршневой головки шатуна при необходимости осуществляется для шатунов неразъемной конструкции растачиванием их на ближайший ремонтный размер. В тех случаях, когда по результатам дефектации головной подшипник замене не подлежит, базы под вкладыши шатунного подшипника, как правило, стремятся восстанавливать растачиванием до номинального размера. Такой вариант ремонта оказывается возможным благодаря предварительному фрезерованию плоскостей разъема кривошипной головки и крышки подшипника шатуна на 1–2 мм каждой и позволяет сократить количество деталей с ремонтными размерами. Установочной базой при этом принимают внутреннюю поверхность головного подшипника. Растачивание на ремонтный и номинальный размеры осуществляется по 7–9 квалитетам точности при одновременном удовлетворении требований по взаимному расположению осей отверстий под головной и шатунный подшипники.

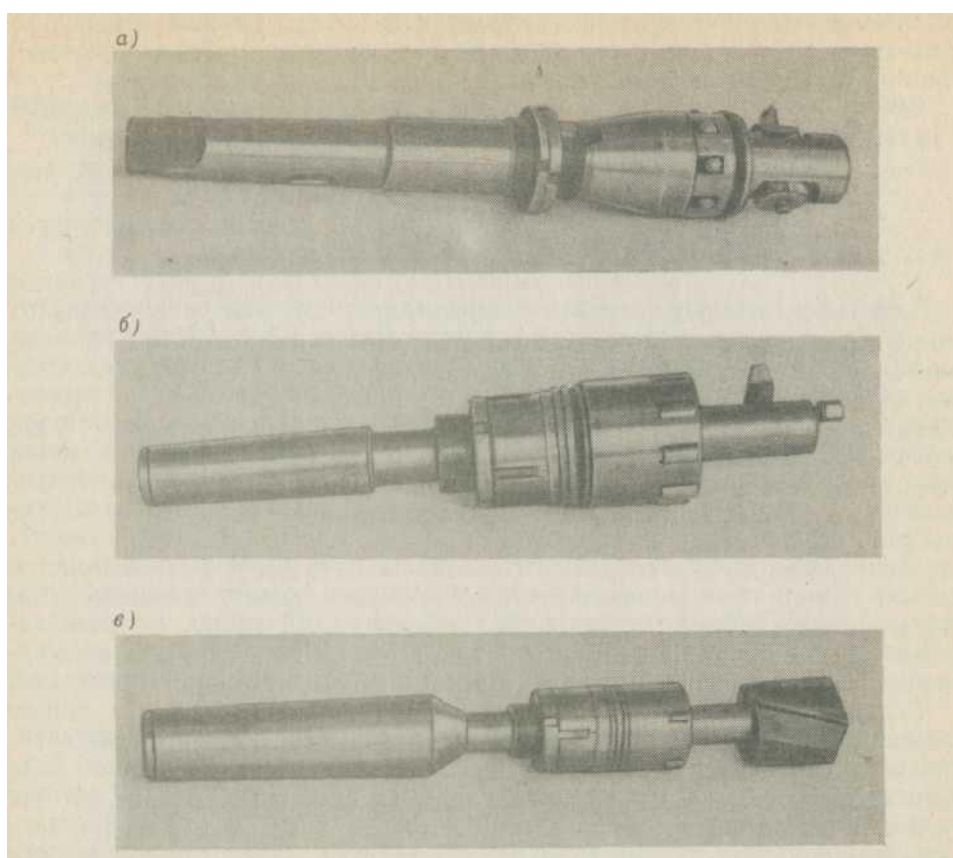
Головной подшипник заменяют выпрессовкой старой и запрессовкой новой бронзовой втулки, причем последнюю операцию всегда предпочтительнее выполнять с предварительным охлаждением охватываемой детали (втулки) до температуры не выше  $-70^{\circ}\text{C}$  в твердой углекислоте или жидком азоте.

Растачивание рабочих поверхностей головного и шатунного подшипников после их замены в условиях специализированного дизелеремонтного производства выполняют на специальных двухшпиндельных алмазно-расточных станках. Осевая подача шатуна обеспечивается гидравлическим перемещением суппорта станка, на котором закреплена обрабатываемая деталь, и за счет этого достигается высокая точность взаимного расположения осей растачиваемых отверстий. Жесткие технические требования по межосевому расстоянию и размерам подшипников обеспечивают наладкой агрегатных головок и тонкой регулировкой вылета резцов относительно осей расточных шпинделей головок. Технические требования по шероховатости рабочих поверхностей подшипников ( $Ra = 0,32\text{--}0,63\text{ мкм}$ ) удовлетворяются за счет повышенной жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД), использования алмазного режущего инструмента и малой осевой подачи суппорта станка на один оборот шпинделя.

Поскольку при растачивании подшипников шатунов на агрегатных алмазно-расточных станках обработку обоих отверстий ведут одновременно и при больших скоростях резания (до 4–5 м/с), то, помимо высокой точности ремонта, обеспечиваются минимальные затраты времени на выполнение технологической операции.

Зачастую, особенно при растачивании головного и шатунного подшипников на универсальных горизонтально-расточных станках, окончательную обработку

предусматривают в виде двух последовательных операций: получистового растачивания и пластического поверхностного деформирования антифрикционного слоя в холодном состоянии ротационным раскатыванием шариковыми или роликовыми раскатками (рисунок 1.73). Такая окончательная обработка обеспечивает частичное упрочнение рабочих поверхностей подшипников, снижение технологической шероховатости на один – два класса и высокую точность геометрических форм и размеров баз. Все это вместе взятое способствует повышению износостойкости подшипников шатунов и продлению сроков службы. Правда, роль поверхностного упрочнения, создаваемого при раскатывании, в повышении износостойкости пока что изучена недостаточно.



а – шариковая; б, в – роликовая  
**Рисунок 1.73 – Ротационные раскатки**

Специфические особенности ремонта шатунов с отъемной кривошипной головкой определяются необходимостью восстановления точности формы (плоскостности) поверхностей разъема лапы стержня шатуна и кривошипной головки, а также конструктивным исполнением шатунного подшипника, антифрикционный слой которого заливают непосредственно в тело кривошипной головки шатуна и крышки подшипника.

Устранение наклепа и восстановление плоскостности поверхности разъема лапы стержня шатуна при небольших искажениях производят пришабриванием по контрольной плите на краску, а в противном случае – шлифованием кругами чашечной формы на специальных шлифовальных станках. Установочными и измерительными



базами в любом из этих технологических вариантов является внутренняя поверхность головного подшипника.

Восстановление плоскостности привальной поверхности кривошипной головки шатуна осуществляется пришабриванием ее по поверхности разъема лапы стержня шатуна, а антифрикционного слоя – его перезаливкой по специальной технологии с последующим растачиванием в сборе с крышкой подшипника на ремонтный размер.

Ремонт отверстий под шатунные болты отличается наибольшей простотой и сводится к их развертыванию на ремонтный размер в кондукторах.

### **Ремонт подшипников**

*Износы подшипников дизелей и реверс-редукторных передач* определяются конструктивными особенностями, видами трения и нагружения этих деталей. Для подшипников скольжения коленчатых валов наиболее характерным является усталостное изнашивание, проявляющееся особенно интенсивно в выкрашивании антифрикционного слоя у подшипников с баббитовой заливкой. Обнаружение этих износов производят визуально и при наличии даже незначительных дефектов вкладыш подшипника подвергается выбраковыванию.

В условиях централизованного ремонта дизелей вкладыши шатунных и коренных подшипников коленчатых валов заменяют новыми без дефектации. Объясняется это тем, что повторное использование вкладышей с малыми геометрическими искажениями и износами создает опасность усталостного разрушения при эксплуатации в межремонтный период, а перезаливка даже толстостенных вкладышей приводит к неизбежным деформациям наружной поверхности, которые оказываются практически неустраняемыми.

Подшипники скольжения шатунов с разъемными стержнями и кривошипной головкой, имеющие заливку непосредственно в тело этих деталей, при ремонте перезаливают с последующей механической обработкой. Технологический процесс перезаливки таких шатунных подшипников состоит из выплавки или механического удаления баббита, очистки от грязи и окислов, обезжиривания, травления, лужения и заливки внутренней поверхности подшипника слоем нового антифрикционного сплава.

Очистку от окислов поверхности, на которую наносят антифрикционный слой, производят в пескоструйной камере или травлением в 10%-ном растворе серной или соляной кислот с последующей промывкой в горячей воде и просушиванием.

Обезжиривание 10%-ным водным раствором едкого натра или калия является подготовительной операцией перед травлением и служит для окончательного удаления жировых отложений.

Травление обезжиренной поверхности кривошипной головки шатуна с крышкой подшипника ведется в 10%-ном растворе соляной кислоты, после чего предусматривается промывка горячей водой и нейтрализация кислоты в 5%-ном растворе щелочи.

Лужение восстанавливаемой поверхности включает операции окончательного травления ее флюсом и нанесения полуды.

Перед лужением кривошипная головка шатуна собирается с крышкой подшипника на технологических болтах. При необходимости в плоскости разъема этих



деталей устанавливают набор прокладок расчетной толщины для обеспечения одинакового слоя заливки антифрикционного сплава по всем сечениям подшипника. Поверхности деталей, не подлежащие заливке, предохраняют специальной меловой пастой.

В качестве флюсов при заливке используют жидкие растворы или порошки, основу которых составляет хлористый цинк и хлористый аммоний (нашатырь).

Перед лужением подшипник подогревают до температуры 80–90° С, а затем опускают в ванну с флюсом. При этом флюс должен равномерно смачивать всю заливаемую поверхность. В противном случае подшипник повторно обезжиривают и протравливают.

Операцию нанесения полуды сводят к погружению подшипника в расплав припоя и 5-минутной выдержке деталей в нем. Удовлетворительной считается такая полуда, которая покрывает поверхность тонким слоем тускло-серебристого оттенка.

Собственно, заливку подшипников антифрикционным сплавом можно осуществлять ручным или механизированным способами.

При ручной заливке подшипник устанавливают в специальное приспособление, обеспечивающее формирование равномерного слоя толщины заливки, и расплавленный антифрикционный сплав мерным ковшом заливают в образовавшийся при сборке приспособления зазор. Технологический процесс ручной заливки подшипников малопроизводителен и в ряде случаев уступает механизированным процессам по качественным показателям. Однако благодаря своей простоте и доступности является еще достаточно распространенным на судоремонтных предприятиях.

Механизированную заливку подшипников осуществляют подачей расплавленного антифрикционного металла в зону заливки под давлением или на специальных станках для центробежной заливки.

Первая из этих разновидностей механизированной заливки обеспечивает наиболее высокое качество антифрикционного слоя, но из-за сложности оборудования применяется, как правило, только в крупносерийном производстве.

Сущность центробежной заливки состоит в том, что подшипник закрепляют на планшайбе специального станка и приводят во вращение с такой частотой вращения, которая при известных условиях охлаждения детали и диаметральных размерах заливаемой поверхности обеспечивает минимальную ликвацию сплава. Расплавленный антифрикционный сплав подается в зону заливки в мерных объемах через специальное устройство и за счет действия центробежных сил наносится на внутреннюю поверхность подшипника, обеспечивая хорошую адгезию.

Поскольку к подшипникам предъявляют высокие требования по микроструктуре и химическому составу, то в технологическом процессе заливки этих деталей всегда предусматривают регулярный отбор проб для проведения микроструктурного и химического анализа антифрикционного сплава при изготовлении каждой партии подшипников.

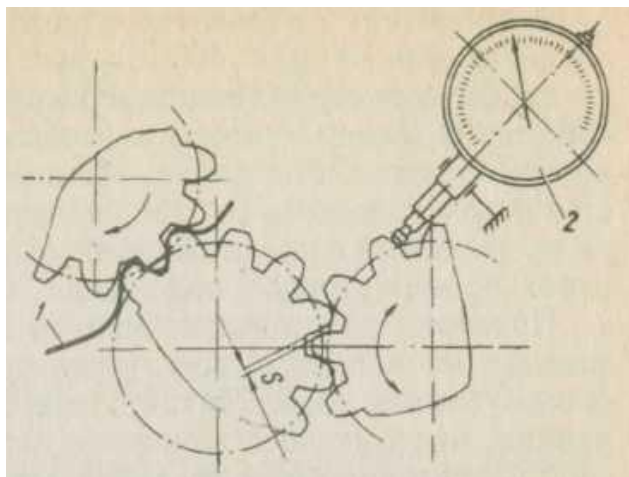
Качество сцепления антифрикционного слоя с основой подшипника, а также микротрещины, отслоения и т.д. в условиях серийного ремонта и производства любых подшипников контролируется ультразвуковым методом, который обладает достаточной чувствительностью к таким дефектам.

Основная проблема при контроле подшипников на выявление скрытых дефектов связана не столько с совершенствованием методов неразрушающего контроля, сколько с обоснованием и выбором критериев количественной и качественной оценки результатов заливки и дальнейшей работоспособности подшипников с большим или меньшим количеством обнаруженных дефектов. Пока в практических условиях браковочные критерии устанавливают на основании опыта производственного персонала.

Наиболее характерным признаком современного подхода к ремонту подшипников скольжения является проведение конструктивно-технологической модернизации, приводящее к замене дорогостоящих баббитовых вкладышей с низкой усталостной прочностью монометаллическими.

Наиболее трудоемкими и технически сложными технологическими операциями при ремонте зубчатых передач являются сборочные работы. Объясняется такое положение высокими техническими требованиями, предъявляемыми к собранным зубчатым парам по боковым зазорам в зацеплении, качеству прилегания зубьев шестерни и колеса.

Боковой зазор компенсирует деформации и погрешности изготовления колес. Он зависит в цилиндрических передачах от межосевого, а в конических – от полюсного расстояния. Как при дефектации, так и при проверках точности сборки боковой зазор можно определять щупами, свинцовыми выжимками и индикаторами часового типа. При оценке бокового зазора с помощью выжимок (рисунок 1.74) свинцовая проволока диаметром, несколько большим ожидаемого зазора, вращением колес протягивается через зацепление и микрометрическим инструментом измеряют толщину ее на деформированном участке.



**Рисунок 1.74 – Схема проверки бокового зазора  $S$  в зубчатых зацеплениях: свинцовой выжимной (1) и индикатором (2)**

Индикаторные измерения зазоров (см. рисунок 1.74) обеспечивают наивысшую точность за счет того, что передаточное отношение измерительного рычага, жестко связанного с подвижной шестерней может быть сколь угодно большим. Смысл подобных измерений сводится к покачиванию одной шестерни относительно другой неподвижной на значение бокового зазора.

В случае неудовлетворения значения бокового зазора требуемым регламентациям цилиндрические пары подлежат замене, а в конической передаче предусматривается необходимая регулировка полюсного расстояния.

Правильность зацепления зубьев в передаче (качество прилегания) оценивается проверкой зацепления по отпечатку краски. Для этого в собранной и отрегулированной по боковым зазорам передаче на зубья ведомой шестерни наносят тонкий слой краски и после проворачивания вокруг своей оси визуально определяют характер прилегания, а также проверяют правильность зацепления зубьев в передаче по эталонным отпечаткам

## **1.8 Ремонт движительно-рулевых комплексов**

### ***1.8.1 Ремонт гребных винтов***

Гребные винты являются наиболее яркими представителями группы деталей судовых устройств, работающих в условиях интенсивного кавитационного изнашивания. В ряде случаев кавитация лопастей гребных винтов настолько сильная, что при относительно непродолжительной эксплуатации на них образуются сквозные дефекты достаточно крупных размеров. К сопутствующим кавитационному разрушению износам и повреждениям гребных винтов относят также коррозионные износы, изгибы и поломки лопастей в результате ударов о плавающие предметы и т.п.

Тяжелые условия эксплуатации, сложность конструктивного исполнения, ограничения на материалы и технологию изготовления обуславливают низкую надежность и малые сроки службы гребных винтов. Цельнолитые и сварные гребные винты судов речного флота изготавливают из углеродистой конструкционной стали марки 25Л и коррозионностойкой стали марки 08Х14НДЛ.

Дефекты и повреждения, подлежащие устранению при ремонте, регламентируют дифференцированно в зависимости от эксплуатационных нагрузок, действующих на лопасти.

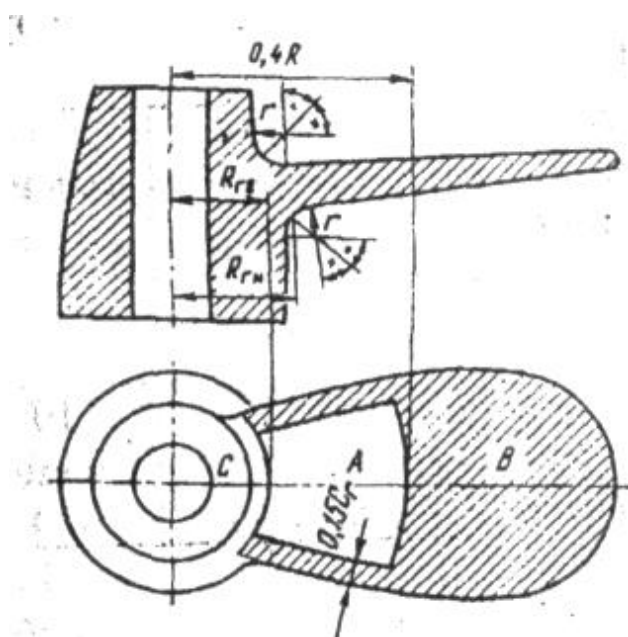
По конструктивным соображениям элементы лопастей винта разбивают (рисунок 1.75) на следующие три зоны:

*зона А*, ограниченная на нагнетательной и засасывающей поверхностях радиусами  $R$ , ( $R_i = 0,4R$ , где  $R$  – радиус винта),  $R_i$  и  $R_2$  (соответствуют радиусам цилиндрических сечений, проходящих через середины галтелей верхней и нижней) и линиями, эквидистантными

входящей и выходящей кромке лопасти и отстоящими от них на расстоянии  $0,15C_i$  ( $C_i$  – хордовая длина сечения лопасти);

*зона В*, заштрихованная на рисунке (вид сверху);

*зона С*, включающая все остальные поверхности, не вошедшие в зоны *А* и *В*.



**Рисунок 1.75 – Разбивка лопастей гребного винта на зоны дефектации**

Выявляют дефекты и повреждения гребных винтов при ремонте после очистки от продуктов обрастания и загрязнений. Коррозионные и кавитационные разрушения оценивают визуально.

Поверхности лопастей в *зоне А* контролируют методами магнитопорошковой или капиллярной дефектоскопии для выявления микротрещин и поверхностных или подповерхностных дефектов.

Правку лопастей гребных винтов для устранения их погибов производят в горячем или холодном состоянии. Численные значения и характер дефектов, подлежащих исправлению, в каждом отдельном случае согласовывают с Регистром.

Холодную правку кромок и тонких сечений лопастей (до 15мм) при углах изгиба не более  $20^\circ$  можно выполнять без последующей термической обработки. В противном случае предусматривают в технологическом процессе отпуск, режимы которого назначают, исходя из физико-механических свойств сталей.

В горячем состоянии лопасти правят на специальных прессах с применением промежуточных деревянных прокладок для повышения равномерности распределения и передачи нагрузки.

Температура нагрева под правку составляет  $597-847^\circ\text{C}$ . Ее контролируют термоэлектрическими термометрами и фотоэлектрическими пирометрами.

Обязательный после горячей правки отпуск проводят при температуре около  $627^\circ\text{C}$ , с выдержкой в течение 4–6 ч. (охлаждение на воздухе).

При правке лопастей толщиной свыше 80 мм допускается предусматривать технологические канавки для ослабления сечений, которые после правки устраняют заваркой по специальной технологии.

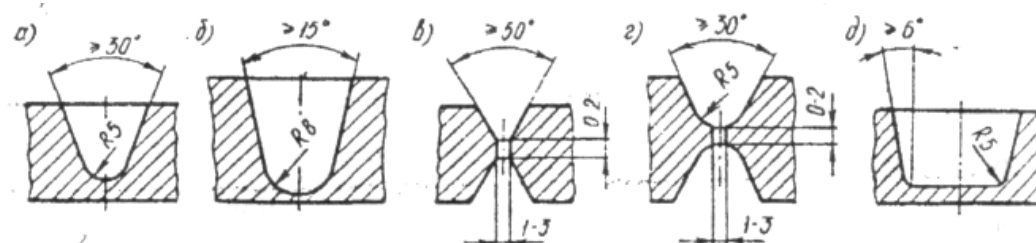
Заключительной операцией правки является проверка лопастей гребных винтов на отсутствие трещин магнитопорошковым или капиллярным методами.

Кавитационные разрушения и повреждения в виде трещин при ремонте устраняют сваркой и наплавкой с предварительной разделкой дефектов до чистого

металла. При этом предельные значения размеров дефектов определяют по размерам разделки. Например, для винтов из низколегированной коррозионностойкой стали 08Х14НДЛ в любой зоне общая площадь наплавки не должна превышать 15% от площади соответствующей зоны, а глубина завариваемого дефекта 35% от толщины сечения в зонах *А* и *С*. В зоне *В* глубина повреждений, подлежащих устранению, не регламентируется. Для винтов из стали 25Л площадь и глубина завариваемых повреждений не оговаривается.

Полноту удаления трещин и на этом этапе контролируют магнитопорошковым или капиллярным методами дефектоскопии.

Форма и размеры разделки трещин и глубоких кавитационно-коррозионных разрушений зависит от глубины и места расположения на лопасти. Для несквозных дефектов применяют разделку с углом раскрытия  $30^\circ$  и радиусом закругления 5 мм при глубине дефекта меньше 30 мм (рисунок 1.76, *а*), а при глубине повреждения больше 30 мм (рисунок 1.76, *б*) угол раскрытия разделки уменьшают до  $15^\circ$ , но при этом увеличивают радиус закругления до 8 мм.



**Рисунок 1.76 – Схемы разделки гребных винтов под заварку дефектов**

Форма разделки сквозных дефектов и повреждений в зонах *В* и *С* лопасти должна соответствовать рисунку 1.76, *в*, при толщине лопасти 30 мм или рисунку 1.76, *г* при более толстых сечениях лопастей.

Широкие раковины разделяют по схеме рисунок 1.76, *д*.

Гребные винты относят к деталям ответственного назначения, поэтому к устранению повреждений сваркой и наплавкой допускают только специально аттестованных сварщиков.

Сварочные материалы и режимы ручной и полуавтоматической наплавки при восстановлении гребных винтов выбирают по рекомендациям технологических инструкций (таблица 1.6).

**Таблица 1.6 – Сварочные материалы и режимы наплавки при восстановлении гребных винтов из стали**

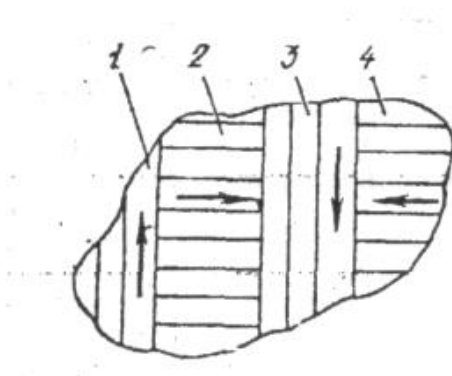
Материал винта (сталь)	Ручная сварка			
	Марка электрода	Сила тока, <i>а</i> , при сварке (наплавке) электродами диаметром <i>d<sub>э</sub></i> , мм		
		3	4	5
08Х14НДЛ	ОХ14НЖА	110–130	160–180	210–240
	ЦЛ-41	100–120	160–170	180–210
	ЭА400/104	70–90	120–140	140–160
08Х15Н4ДМЛ	ЦЛ-15	100–120	140–160	180–210

	ЭА400/10У	70–90	120–140	140–160
25Л	УОНИИ13/45	–	–	–
08ГДНФЛ	УОНИИ13/45А	100–130	150–180	210–250
	УОНИИ13/55	–	–	–
<b>Полуавтоматическая наплавка сварочной проволокой</b>				
<b>Материал винта (сталь)</b>	Марка сварочной проволоки. Защитный газ	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В
08Ч14НДЛ	ОХ14НЖА	–	–	–
	ЦЛ-41	–	–	–
	ЭА400/104	–	–	–

Продолжение таблицы 1.6

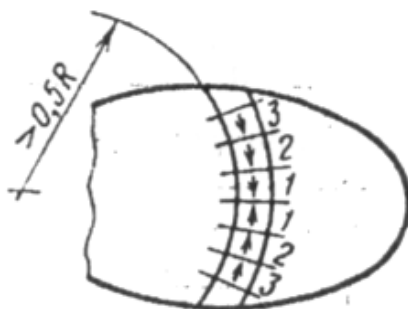
Материал винта (сталь)	Ручная сварка			
	Марка электрода	Сила тока, а, при сварке (наплавке) электродами диаметром $d_3$ , мм		
		3	4	5
08Ч15Н4ДМЛ	ЦЛ-15	–	–	–
	ЭА400/10У	–	–	–
25Л	УОНИИ13/45	1,0	80–180	20–23
08ГДНФЛ	СВ-08Г2С	1,2	120–200	21–24
	ГОСТ2246-70	1,4	140–220	21–26
	Двуокись углерода	1,6	150–300	22–30
	газообразная			

Многослойную наплавку глубоких дефектов выполняют с наложением слоев 1–4 во взаимно перпендикулярных направлениях (рисунок 1.77) после тщательной очистки каждого предыдущего слоя от шлака и других загрязнений, а сквозных разрушений (повреждений) с подваркой корня шва.



**Рисунок 1.77 – Схема наплавки дефектных участков винтов (стрелками показано направление наплавки)**

Поломку концов лопастей в районе свыше  $0,5R$  винта при ремонте устраняют постановкой наделок, площадь которых не превышает 20% площади одной стороны лопасти. Для уменьшения поводки наделок приварку производят (рисунок 1.78) обратноступенчатым способом (последовательность 1–3) от середины лопасти к краям с симметричным относительно центра сечения заполнением разделки во времени.



**Рисунок 1.78 – Схема приварки наделки лопасти**

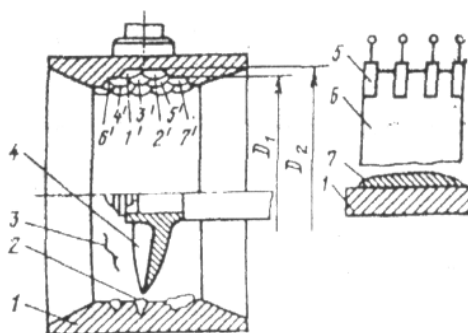
Качество устранения повреждений в зоне А контролируют магнитопорошковым или капиллярным методами по всей площади зоны, а в зонах В и С только в тех местах, где производили сварку и наплавку.

Для повышения износостойкости после ремонта винтов из стали 08Х14НДЛ заваркой и наплавкой аустенитными электродами зону А полностью подвергают поверхностному упрочнению дробеструйной обработкой.

Восстановление геометрических и технологических характеристик гребных винтов из стали 25Л при незначительных коррозионных разъеданиях поверхностей лопастей можно обеспечить плазменным напылением, например, самофлюсующимся сплавом ГГГ-ХШОСРЗ, последующим оплавлением. При этом наносят 10–15 слоев покрытия на следующих режимах: ток 400–450 А, напряжение 45–50 В, расход плазмообразующего газа 35–40 л/мин, дистанция напыления 100–120 мм. При этих режимах удастся получить общую толщину покрытия до 0,7 мм. Последующее оплавление покрытия при температурах до 1350 К обеспечивает шероховатость поверхности  $R = 80 \text{ мкм}$  и твердость 55–57 HRC. Для оплавления используют газопламенные горелки.

### **1.8.2 Ремонт направляющих насадок**

Движительно-рулевые комплексы с гребными винтами в цилиндрических насадках (рисунок 1.79) широко применяют на судах речного флота. Насадки 1 изготавливают из сталей марок 25Л, ВСтЗсп4 и 09Г2. Эти материалы не относятся к сталям повышенной коррозионной стойкости, однако, обладают хорошими технологическими свойствами (высокой пластичностью, свариваемостью и т.п.).



1 – насадка; 2 – язва; 3 – трещина; 4 – диск винта; 5 – токопроводы; 6 – электроды;  
7 – наплавленный металл

**Рисунок 1.79 – К ремонту цилиндрических насадок гребных винтов**

В процессе эксплуатации внутренние поверхности насадок, изготовленных из указанных сталей, подвергаются интенсивному коррозионному и эрозионному изнашиванию в районе, прилегающем к плоскости диска винта 4. В результате на рабочей поверхности образуются локальные коррозионные разрушения в виде язв 2, которые по глубине могут достигать до 10–12 мм при толщине внутреннего кольца насадки 20 мм.

Наиболее часто встречаются коррозионно-эрозионные износы насадок сухогрузных теплоходов глубиной 5–6 мм и шириной поврежденного пояса 200–250 мм. Средняя скорость изнашивания при этом достигает по основному металлу 2,6 мм/год, а по сварным швам превышает это значение.

Конструктивно-технологические методы повышения эксплуатационной надежности насадок гребных винтов включают в себя:

1. применение для изготовления внутреннего кольца насадки высоколегированных коррозионностойких и двухслойных сталей;
2. усиление схем антикоррозионной защиты лакокрасочными материалами;
3. более жесткую электрохимическую защиту насадок;
4. восстановление наплавкой при ремонте или наплавку при изготовлении высоколегированными материалами.

При изготовлении насадок из коррозионностойких материалов для внутренней обшивки можно применять стали аустенитного класса марок 12X18H10T, 12X18H9T или двухслойные стали с плакирующим (поверхностным) слоем из сталей этих же марок.

Одним из вариантов усиленной антикоррозионной защиты лакокрасочными материалами является покрытие рабочей поверхности насадки одним слоем грунта ВЛ-02 с последующим нанесением шести слоев эмали ЭП-755. В любом случае при изготовлении насадок из высоколегированных сталей или антикоррозионной защите необходимо стремиться к тому, чтобы по возможности обеспечивать минимальную шероховатость внутренней поверхности насадки.

При ремонте наплавку рабочей поверхности насадок применяют для устранения дефектов и повышения коррозионно-эрозионной стойкости.

Наибольшее распространение получили ручная дуговая и полуавтоматическая наплавки. При ручной дуговой наплавке используют электроды ЭА-606/11, ЭА-400/10у



и др. Полуавтоматическую наплавку ведут в среде защитного газа (ССб) сварочными проволоками Св-08Х19Н9Ф2С2, Св-04Х19Н11МЗ.

В качестве других наплавочных процессов при ремонте насадок применяют автоматическую наплавку под слоем флюса и широкослойную наплавку ленточными электродами также под слоем флюса.

Автоматическая наплавка под слоем флюса проволокой Св-06Х19Н9Т приводит к большим остаточным деформациям, ухудшению поверхностного слоя вследствие глубокого проплавления основного металла, низкой производительности из-за ограничения режимов по сварочному току. В результате для получения качественного восстановления деталей требуется многослойная наплавка, а это в свою очередь приводит к дополнительному расходу сварочных материалов и электроэнергии.

Широкослойную наплавку ленточными электродами из коррозионностойких сталей проводят под слоем флюса с использованием специального оборудования. В качестве электродов 6 (см. рисунок 1.79) используют стандартную стальную ленту шириной до 75 мм и толщиной 0,7 мм. Клавишные токопроводы 5 обеспечивают хороший контакт с ленточным электродом. Подготовка восстанавливаемой поверхности состоит в механическом растачивании мест повреждений до регламентируемых диаметров  $D_1$  и  $D_2$ . Если при этом на поверхности остаются неустраненными язвенные разрушения, то они наплавляются ручной дуговой наплавкой электродами ОАС-12 диаметром 5 мм в два слоя.

Непосредственную широкослойную наплавку ведут в определенном порядке, соответствующем числовой последовательности от 1 до 7 и т.д. электродами из спеченой ленты ЛС-1Х14НЗ. Такая наплавка обеспечивает сравнительно малое перемешивание основного и наплавленного металла 7.

Толщина коррозионно-стойкого слоя после наплавки не должна быть менее 3 мм.

Трещины 3 на рабочей поверхности направляющих насадок чаще всего встречаются в местах электрозаклепок и сварных швов. Технологический процесс устранения трещин в насадках аналогичен заварке трещин на лопастях гребных винтов и также требует предварительного согласования с Регистром, как и процесс восстановления коррозионно-стойкой наплавки внутренних поверхностей насадок.

### ***1.8.3 Статическое и динамическое уравнивание гребных винтов после ремонта***

Из динамики машин известно, что любая неуравновешенная масса при вращении приводит к образованию сил инерции, которые вызывают неравномерные нагрузки на опоры, колебания и вибрации деталей и механизмов в целом. Причинами появления неуравновешенных масс в деталях при изготовлении и ремонте являются технологические неточности во взаимном расположении поверхностей относительно оси вращения, неравномерность структуры материала, распределения внутренних дефектов в отливках и т.п.

Для устранения чрезмерно больших неуравновешенных масс в технологических процессах ремонта (изготовления) гребных винтов предусматривают в зависимости от

рабочей частоты вращения только статическое или статическое и динамическое уравнивание (балансировку) этих деталей.

Теоретически сущность статического уравнивания гребных винтов сводится к удовлетворению следующего условия (рисунок 1.80):

$$\sum M_0 = 0 \text{ или } \sum m_n r_n \sin \alpha = 0 \quad (1.51)$$

где  $M_0 = m_n r_n \sin \alpha$  – вращающий момент неуравновешенной массы  $m_n$  относительно оси  $x$ ;

$r_n$  – радиус-вектор неуравновешенной массы.

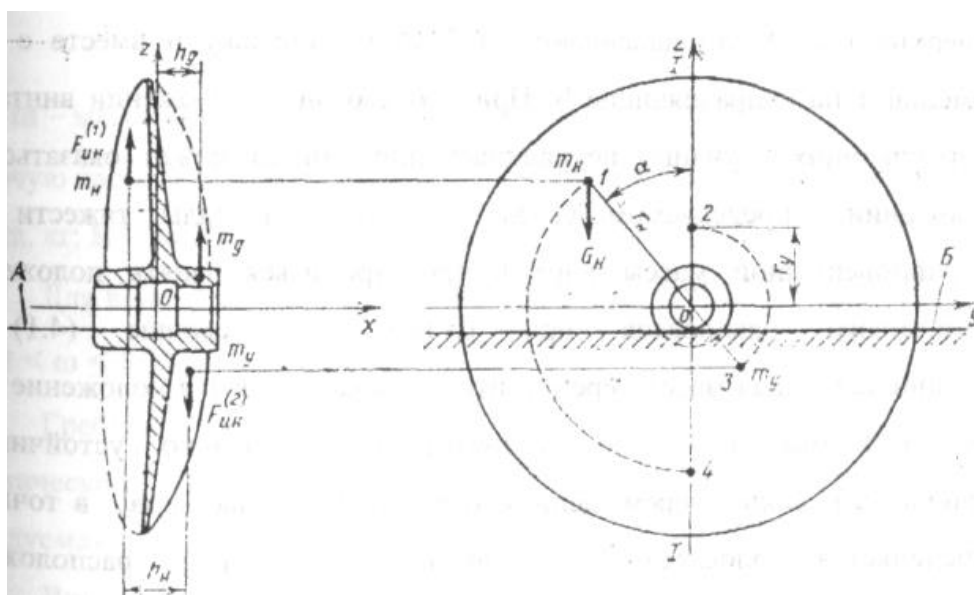


Рисунок 1.80 – Схема уравнивания гребных винтов

Совершенно очевидно, что в реальных условиях численные значения всех указанных в равенстве (1.51) величин (каждой в отдельности) определить невозможно, а, следовательно, невозможно их варьировать для удовлетворения условия (1.51).

Поэтому, если условие (1.51) не выполняется, необходимо искусственно ввести такой дополнительные момент  $\Delta M$  уравнивающей массы, который превратит равенство (1.51) в тождество. Иначе говоря, для уравнированного винта должно быть

$$\sum M_0 + \Delta M = 0 \text{ или } \sum m_n r_n \sin \alpha + m_y r_y \sin \alpha = 0 \quad (1.52)$$

где  $m_y$  и  $r_y$  – масса и радиус-вектор искусственно вводимого (удаляемого) уравнивающего груза.

На практике статическое уравнивание осуществляют на специальных балансировочных стендах со строго горизонтальными и параллельными опорными поверхностями Б (см. рисунок 1.80). Для этого винт поверхностью А устанавливают на жесткую оправку и вместе с ней помещают на направляющие Б. При произвольном положении винта на направляющих случайно неуравновешенная масса может оказаться в положении, определяемом углом  $\alpha$ . За счет силы тяжести  $G_n$  неуравновешенной массы

винт будет стремиться занять положение устойчивого равновесия при  $\alpha = 180^\circ$  по условию (1.52) и неуравновешенная масса переместится из положения 1 в положение 4 (при  $\alpha=0$   $m_n r_n \sin \alpha = 0$  это соответствует положению устойчивого равновесия). Таким перемещением и положением массы  $m_n$  в точке 4 определяется плоскость 1–1 винта, в которой расположена неуравновешенная масса. Тогда, выбрав некоторый груз контрольной массой  $m_y$ , помещают его в точку 2, расположенную диаметрально противоположно массе  $m_n$  в плоскости 1–1. Радиус-вектор варьируют до тех пор, пока не будет выполнено условие (1.52). Практически это означает: в какое бы положение на направляющих Б ни был установлен винт (в том числе и в положении, соответствующем  $\alpha = 90^\circ$ ) он всегда останется в равновесии.

На гребных винтах конструкторской документацией предусмотрены места, в которые следует добавлять уравнивающие грузы или с которых можно удалять излишние массы.

Точность статического уравнивания на горизонтальных балансировочных стендах зависит от коэффициента трения качения на направляющих. Поэтому обычно эти направляющие имеют высокую поверхностную твердость и малую шероховатость.

В соответствии со стандартами уравнишенность гребных винтов оценивают по массе контрольного груза, прикладываемого на конце лопасти. Значение этой массы должно удовлетворять для статически уравнишенного винта следующему условию:

$$m \leq k_B \frac{m_B}{R} \quad (1.53)$$

где  $m$  – масса контрольного груза, кг;

$k_B$  – коэффициент, учитывающий рабочую частоту вращения  $\omega$  гребного винта;

$m_B$  – масса гребного винта, кг;

$R$  – радиус гребного винта, мм.

Для винтов массой до 10 т.  $k_B = 0,75$  при  $\omega < 3,33$ ;  $k_B = 0,50$  при  $3,33 < \omega \leq 8,33$  и  $k_B = 0,25$   $\omega > 8,33$ .

Гребные винты обычного назначения подвергают только статическому уравниванию. В специальных изделиях может предусматриваться дополнительная динамическая балансировка.

Винт оказывается динамически неуравновешенным тогда, когда, например, массы  $m_n$  и  $m_y$ , расположенные в точках 1 и 3, отстоят друг от друга на расстоянии  $h_n$  в направлении оси  $x$ . При вращении гребного винта эти массы будут развивать некоторый неуравновешанный момент сил инерции  $F_{ин}^{(1)}$  и  $F_{ин}^{(2)}$  относительно оси  $y$  во вращающейся вместе с винтом системе координат  $хуz$ . Сущность динамического уравнивания в этих случаях состоит в создании противодействующего (уравнивающего) момента  $m_d$  благодаря установлению дополнительных масс на определенном конструкцией расстоянии  $h_d$ .

Динамическую балансировку производят на специальных станках, а необходимые расчеты ведут по соответствующим методикам.

#### *1.8.4 Модернизация гребных винтов при ремонте*

Известны три основных направления конструктивно-технологической модернизации и совершенствования гребных винтов: 1 – изготовление сварно-литых конструкций и переход от цельнолитых и сварно-литых винтов к сборным винтам с механическим и фрикционным креплением лопастей в ступице (винты регулируемого шага не рассматриваются).

Основная идея всех модернизационных мероприятий состоит в расчленении сложной конструкции винта, по крайней мере, на две более простые части (ступицу и лопасти). Каждая из расчлененных деталей конечно является более технологичной и позволяет использовать материалы с повышенными эксплуатационными характеристиками. Из экономических соображений в этом случае оказывается нецелесообразным применять для ступицы и лопасти высоколегированные кавитационностойкие стали. Но при разнородных классах сталей в процессе сварки лопастей со ступицей возникают большие внутренние напряжения, приводящие к трещинообразованию и низкой надежности сварно-литых винтов.

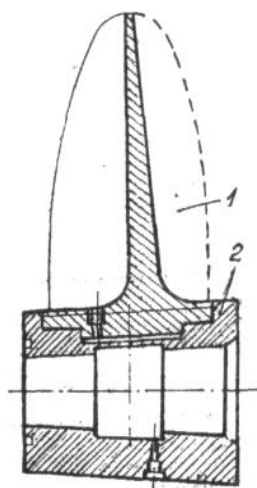
Сборные гребные винты с механическим креплением лопастей широко используют на судах морского флота. При такой конструкции лопасти крепят к ступице болтами или шпильками, что требует значительного увеличения диаметра ступицы. При относительно малых диаметрах винтов (характерно для речных судов) размеры ступицы не позволяют переходить к этим конструкциям. Недостатком сборных гребных винтов с механическим креплением лопастей является ослабление соединения «лопасть-ступица» за счет релаксации напряжений в крепежных деталях. При длительной эксплуатации это требует постоянного надзора и проведения специальных профилактических работ.

Сборные гребные винты с фрикционным соединением лопасти со ступицей (рисунок 1.81) являются одними из наиболее перспективных. В таких конструкциях надежность крепления лопасти 1 в ступице 2 обеспечивается силами трения (фрикционно), которые возникают при сборке комля лопасти и ступицы с расчетным натягом. От разворота лопасти фиксируют некруглоцилиндрическим фланцем.

Наряду с преимуществами, вытекающими из расчленения конструкции на отдельные элементы (детали), эти винты отличаются повышенной ремонтпригодностью и эксплуатационной приспособленностью к режимным условиям.

Повышенная ремонтпригодность объясняется тем, что замена лопасти при необходимости может быть осуществлена на плаву и не требует больших затрат. Ступицу можно использовать многократно.

Хорошая эксплуатационная приспособленность к режимным условиям обуславливается возможной корректировкой шага гребного винта за счет некоторого разворота лопасти. Этим же создаются предпосылки к унификации гребных винтов по шагу и сокращению числа их типоразмеров.



1 – лопасти; 2 – ступица

**Рисунок 1.81 – Гребной винт с фрикционным креплением лопастей**

Сборку фрикционного соединения лопасти со ступицей при изготовлении или ремонте винтов в цехе производят с нагревом ступицы, охлаждением лопасти или комбинированным способом с одновременным нагревом охватывающей детали и охлаждением охватываемой.

В практических условиях более доступной является сборка с предварительным нагревом ступицы в печи или индукционным способом, так как охлаждение лопасти до температур  $-190^{\circ}\text{C}$  в жидком азоте усложнено из-за необходимости обеспечения высоких требований техники безопасности.

Разборку фрикционного соединения лопасти со ступицей осуществляют при помощи гидравлической оснастки высокого давления подачей масла под торец комля лопасти через специальные отверстия. Усилие распрессовки при разборке и температурные режимы нагрева ступицы или охлаждения лопасти при сборке определяют по численным значениям натягов в соединении.

Несмотря на большие численные значения натягов при фрикционном креплении лопасти сборного гребного винта, заметное влияние на надежность соединения оказывает микрорельеф сопрягаемых поверхностей. В этом смысле наилучшие результаты получают при дифференцированной регламентации и обеспечении параметров шероховатости комля лопасти и гнезда ступицы. На комле лопасти вибрационным накатыванием создают так называемый регулярный микрорельеф гексагонального типа, а отверстие ступицы под установку лопасти растачивают с обеспечением анизотропной шероховатости, типичной для такого вида механической обработки. В результате сочетания такого микрорельефа удастся избежать замкового контактирования шероховатостей, при котором микровпадины с относительно большим шагом сопрягаются с соответствующими микровыступами, и улучшить ремонтпригодность сборочной единицы при многократном выпрессовывании и сборке лопастей.

Другие важные особенности повышения надежности фрикционных соединений сборных гребных винтов технологическими методами при модернизации и ремонте состоят в том, что вибрационное накатывание упрочняет поверхностные слои комля

лопасти за счет пластического деформирования металла в холодном состоянии и обеспечивает некоторый подъем металла на обкатываемой поверхности. Благодаря этому несколько увеличивается наружный диаметр комля лопасти и компенсируются тем самым потери натягов при трении во время распрессовок соединений.

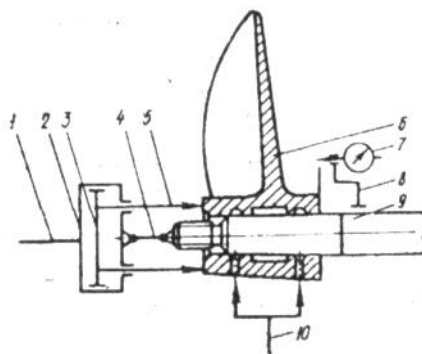
### ***1.8.5 Сборка винтов и гребных валов при ремонте***

Гребной винт и вал после ремонта поступают на сборку с уже окончательно обработанными базами, а сборный гребной винт – с установленными лопастями. Поэтому сущность технологической операции сборки состоит в последовательном соединении деталей сборочной единицы и выполнении при необходимости отдельных пригоночных и контрольных работ.

При конусной шпоночной конструкции соединения пригонка требуется для обеспечения плотного прилегания конических сопрягаемых поверхностей винта и гребного вала, а также возможно большего контакта боковых граней шпонки с соответствующими элементами шпоночного паза. Эту пригонку осуществляют слесарным путем. Качество прилегания поверхностей контролируют по отпечаткам краски, которую предварительно гонким слоем наносят на поверхности гребного вала. При удовлетворительном контактировании конусов вала и винта отпечатки краски равномерно располагаются на конических образующих. Пригоняют конусы и шпонки отдельно.

Технология сборки гребных винтов и валов со слесарной пригонкой – трудоемкий и малопроизводительный процесс. Поиск путей сокращения затрат на сборку этих деталей привел к отказу от общепринятой последовательности выполнения слесарных работ и переходу к гидропрессовым методам соединения валов с гребными винтами.

Сущность гидропрессовой сборки винта на конусе гребного вала состоит в том (рисунок 1.82), что после предварительной установки винта 6 на конус гребного вала 9 в зазор между этими деталями через специальные отверстия и кольцевые канавки по трубопроводу 10 от насоса высокого давления подается масло. Расчетное значение давления масла определяют из условия упругого деформирования ступицы винта, при котором зазор между корпусом винта и вала обеспечит требуемое перемещение охватываемой детали (винта). Линейные перемещения ступицы винта вдоль конуса вала контролируют индикатором 7 часового типа, закрепленным в индикаторной стойке 8.



1, 10 – трубопровод; 2 – гидроцилиндр; 3 – поршень; 4 – переходное звено;

5 – плунжер; 6 – винт; 7 – индикатор; 8 – стойка; 9 – гребной вал  
**Рисунок 1.82 – Схема гидропрессовой сборки винта с гребным валом**

Осевое перемещение винта по конусу вала (после обеспечения расчетного значения давления масла в зазоре между этими деталями) осуществляют подачей масла низкого давления через трубопровод 1 в гидроцилиндр 2. При этом поршень 3, перемещаясь слева направо, плунжерами 5 передвигает винт на расчетное расстояние. Гидроцилиндр осевого перемещения жестко соединяют через переходное звено 4 с гребным валом, чаще всего используя для этих целей резьбовую нарезку концевой участка вала.

Конструкции сборочных единиц, собираемых гидропрессовым методом, могут быть шпоночными и бесшпоночными. В последнем случае особенно сильно проявляются преимущества таких соединений, поскольку полностью исключаются пригоночные работы по шпонкам, устраняются концентраторы напряжений, упрощается и облегчается технология сборки.

Технологические расчеты при сборке гидропрессовых соединений гребных винтов и валов сводятся к определению давления масла, подаваемого в зазор между коническими поверхностями, усилия, развиваемого гидроцилиндром осевого перемещения ступицы винта, и смещения винта в осевом направлении, контролируемого по индикатору. Исходными данными для расчета являются мощность, передаваемая соединением на эксплуатационных режимах, и конструктивные параметры ступицы гребного винта и вала.

Гидропрессовые соединения гребного винта с валом надежно будут передавать заданную мощность в том случае, если выполняется условие.

$$M_{\text{тр}} \geq k_3 M_{\text{кр}} \quad (1.54)$$

где  $M_{\text{тр}}$  – момент трения на сопрягаемых поверхностях ступицы и вала, Н·м;

$k_3$  – коэффициент запаса (принимаемый равным 3–5);

$M_{\text{кр}}$  – крутящий момент, который развивается передаваемой мощностью, Н·м.

Крутящий момент на гребном валу:

$$M_{\text{кр}} = 975 \cdot 10^3 \frac{N_3}{n} \quad (1.55)$$

где  $N_3$  – мощность, передаваемая двигателем, кВт;

$n$  – частота вращения, с<sup>-1</sup>.

Момент трения во фрикционных соединениях зависит от геометрических размеров поверхностей трения и контактных давлений на этих поверхностях. Его рассчитывают по следующему равенству:

$$M_{\text{тр}} = 0,5\pi d^2 l f \rho \quad (1.56)$$

где  $\pi = 3,14$ ;

$d$  – диаметр средней части конуса вала, м;

$l$  – длина сопрягаемых поверхностей, м;

$f$  – коэффициент трения на сопрягаемых поверхностях (по нормам Регистра для пары трения «сталь-сталь»  $f = 0,13$ );

$\rho$  – контактное давление в соединении с конусом гребного вала, Атм.

Численные значения контактного давления  $\rho$  во фрикционных соединениях определяются натягом  $N$ . Их находят в соответствии с формулой Ляме по следующей зависимости:

$$\rho = \frac{N}{d(C_1/E_1 + C_2/E_2)} \quad (1.57)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты, характеризующие жесткость охватываемой (вала) и охватывающей (ступицы) деталей;

$E_1$  и  $E_2$  – модули упругости материалов вала и ступицы, при однородных материалах  $E_1 = E_2$ .

Коэффициент жесткости  $C_1$  и  $C_2$  вычисляют по формулам:

$$C_1 = \frac{d_2 + d_0^2}{d_2 + d_0^2} - \mu_1$$
$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 + d^2} + \mu_1$$

где  $d_0$  – внутренний диаметр полого конца вала, м (для сплошного вала  $d_0 = 0$ )

$D$  – наружный диаметр ступицы гребного винта, м;

$\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты Пуассона (при изготовлении вала и винта из стали  $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$ ).

Таким образом, если между поверхностями ступицы винта и вала при гидропрессованной сборке подать давление масла  $\rho_m = \beta \rho$  (где  $\beta = 1,2-5-1,3$ ), то между этими деталями из-за упругих деформаций образуется фактический зазор  $s$ , численно равный расчетному натягу  $N$ .

Осевое перемещение  $\Delta l$  ступицы в упругорастянутом состоянии до полной выборки зазора  $s$ , контролируемое по индикатору 7 (см. рисунок 9.8), при конусности  $k$  соединения составит:  $\Delta l = sk^{-1}$ .

Конусность фрикционных соединений гребных валов и винтов обычно принимают от 1:15 до 1:100.

Давление масла  $\rho_{mo}$ , необходимое для создания усилия в цилиндре осевого перемещения винта, можно рассчитать по формуле:

$$\rho_{mo} \geq \frac{4\rho_m f_m dl}{D_0^2} \quad (1.58)$$



где  $f_m$  – коэффициент трения на сопрягаемых поверхностях при наличии в зазоре слоя смазочного материала (масла);

$D_0$  – диаметр гидравлического цилиндра осевого перемещение ступицы гребного винта.

При сборке или разборке гидропрессовых соединений следует иметь ввиду, что предельные контактные давления  $\rho_{пр}$  или давления масла по соображениям прочности охватывающей детали не должны превышать значений, получаемых по формуле:

$$\rho_{пр} = \frac{0,95\sigma_T}{\varphi_K \left(1 + \frac{0,2}{m_c}\right)} \quad (1.59)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала ступицы Атм;

$\varphi_K$  – коэффициент, характеризующий приведенные напряжения в ступице, которые возникают от сборки соединенная с натягом;

$m_c$  – показатель, характеризующий среднее относительное значение центральной расточки ступицы ( $m_c = 0,30 \div 0,85$ ).

При отлаженном технологическом процессе и достаточной оснащенности сборочных производственных участков гидропрессовое соединение гребных винтов и валов обеспечивает высокое качество соединений и сокращает долю немеханизированного ручного труда.

## **2. КОНСЕРВАЦИЯ СУДОВ. МЕТОДЫ КОНСЕРВАЦИИ**

### **2.1 Консервация защитными смазками и маслами. Подготовка поверхностей перед консервацией**

#### ***2.1.1 Подготовка поверхностей перед консервацией***

Ни один из применяемых в настоящее время способов консервации материальной части кораблей не исключает использования для защиты ее поверхностей от коррозии различных защитных покрытий. В одних случаях покрытия являются единственными средствами защиты оборудования от возникновения и развития коррозии, в других они играют роль вспомогательного средства, обеспечивающего защиту оборудования при кратковременных нарушениях режимов хранения, например, при кратковременном повышении относительной влажности воздуха (при использовании статического и динамического осушения воздуха в помещениях корабля).

Для создания стойкого защитного покрытия необходимо тщательно подготовить поверхность, правильно выбрать защитные покрытия, правильно организовать технологический процесс нанесения защитных покрытий и уход за покрытиями в процессе хранения оборудования.

Твердые поверхности имеют весьма сложное строение. Их атомы сохраняют то положение, в котором они находились в момент образования поверхности. Поверхность металла состоит из участков, обладающих различными физическими и химическими свойствами. Поверхность металла, особенно металлических сплавов, неоднородна. Дефектами поверхности являются механические повреждения, отдельные царапины,

крупные и мелкие поры, раковины, шероховатости, риски и т.д. Даже самое тщательное полирование не в состоянии устранить их полностью. Поэтому истинная величина площади поверхности металлов и других материалов (вследствие наличия пор и трещин) значительно превышает величину площади поверхности, видимой невооруженным глазом.

Поверхности металлов по своему физическому состоянию сильно отличаются от внутренних областей металла. Атомы металла, находящиеся на границе с внешней средой, вследствие одностороннего воздействия со стороны других атомов обладают ненасыщенными силовыми полями, и на поверхности металлов могут адсорбироваться молекулы, атомы и ионы посторонних веществ. При прочих равных условиях с увеличением доступной поверхности твердого тела повышаются ее адсорбционные свойства.

Адсорбционные свойства поверхности металла приводят к образованию на поверхности при относительной влажности воздуха ниже 100% адсорбционной пленки влаги, при этой же влажности обычно происходит конденсация влаги, в капиллярных щелях. При снижении температуры на поверхности металла образуется сплошная тонкая пленка влаги. В пленке влаги растворяются различные загрязнения воздуха: сернистый газ, соли, пыль, что повышает электропроводность электролита и таким образом способствует увеличению коррозионного тока. Этими свойствами металлических поверхностей и объясняется значительная скорость коррозии грубо обработанных поверхностей по сравнению с полированными.

Плохая подготовка металлических поверхностей даже при наиболее эффективном способе консервации сокращает срок действия защиты, приводит к трате средств на повторную консервацию, вызывает разрушение поверхностей даже под защитным покрытием.

Подготовка поверхностей к нанесению покрытий производится механическим, термическим, химическим и электрохимическим способами и заключается в удалении с поверхностей окислов, продуктов коррозии, старой краски, жировых и масляных загрязнений, влаги, а также в устранении царапин, неровностей, рисков и других дефектов. Способ очистки зависит от материала, из которого изготовлена деталь, подлежащая очистке, формы ее поверхности, точности обработки, вида загрязнений и наносимого на нее защитного покрытия.

**Механический способ очистки** имеет наибольшее распространение. Применяются следующие виды механической очистки:

- пескоструйная;
- дробеструйная или дробеметная;
- крацевание;
- шлифование;
- очистка ручным инструментом.

**Пескоструйная очистка** является одним из эффективных способов подготовки поверхностей. Она особенно пригодна для удаления окислов, ржавчины и старых покрытий с грубо обработанных крупногабаритных деталей. Сущность процесса пескоструйной очистки состоит в том, что струя просеянного и просушенного кварцевого песка направляется сжатым воздухом через специальное сопло на

поверхность детали. Песок, ударяясь о поверхность детали, очищает ее. Эффективность очистки в значительной степени снижается, если поверхность детали сильно замаслена. Поэтому целесообразно перед пескоструйной очисткой поверхность освободить от жиров и масел. Обработанная песком поверхность обладает большой активностью, легко корродирует, адсорбирует пыль и различные загрязнения, поэтому отпескоструенную поверхность необходимо как можно скорее подвергнуть дальнейшей обработке. Основным недостаток пескоструйной очистки – это пыль, вследствие чего она не может применяться во внутренних помещениях корабля. Этот недостаток в значительной мере устраняется при применении гидропескоструйного метода очистки, когда вместо сухого песка используется смесь песка с водой. При гидропескоструйной очистке часто к воде примешивают замедлителей коррозии: нитрита натрия 1–5 г/л, тринатрийфосфата 5–20 г/л, хромпика 5 г/л и др. Использование пассивирующих растворов обеспечивает получение при очистке чистой пассивированной поверхности металла, сохраняющей свои свойства в течение нескольких часов.

На кафедре «Кораблестроение и гидравлика» (Карпенчук И.В., Недбальский В.К.) разработан метод *гидроочистки* корпуса корабля с добавками высокомолекулярных полимеров и дилатантными добавками. В качестве псевдопластичной добавки, снижающей гидродинамическое сопротивление использовался полиэтиленоксид (или полиакриламид), в качестве дилатантной добавки – бентонитовая глина натриевой формы.

Лучшее качество очистки при большей коррозионной устойчивости обработанной поверхности дает применение мелкой стальной дробы вместо кварцевого песка – так называемый дробеструйный способ. Однако, как пескоструйный, так и *дробеструйный* методы очистки вытесняет более прогрессивный способ – *дробеметный*.

*Крацевание* заключается в обработке изделий с помощью быстро вращающихся дисковых проволочных щеток. Для крацевания стальных изделий применяются щетки из стальной проволоки диаметром 0,2–0,4 мм, для изделий из цветных металлов – щетки из латунной или медной проволоки. Этот способ очистки дает хорошие результаты при подготовке под окраску корпусных конструкций, подготовке поверхностей для герметизации донных, забортных отверстий и т. д.

*Шлифование* – наиболее часто применяемый способ подготовки поверхностей к нанесению защитных покрытий. Изделия шлифуются для придания им ровной, гладкой поверхности, удаления окисных пленок, различных механических повреждений: рисок, царапин, заусениц, а также для снятия коррозионных поражений с чисто обработанных поверхностей. Большое применение при шлифовке получили мягкие абразивные материалы, изготавливаемые главным образом из окисей различных металлов: окись хрома, окись железа, окись алюминия, твердость которых ниже твердости закаленной стали. Процесс шлифовки при пользовании этими материалами заключается в многократном удалении с поверхности металла тонкой окисной пленки, которая быстро восстанавливается за счет окислений обнажаемой поверхности металла. Наиболее широкое применение из материалов этой группы получила паста ГОИ.

Ржавчину, старую краску, масла, жировые отложения можно удалять при помощи *пламени*. Для этой цели применяются кислородно-ацетиленовые или керосиново-кислородные горелки и обычные паяльные лампы. При такой обработке ржавчина

разрыхляется и легко удаляется проволочной щеткой или наждачной шкуркой, пленки красок легко растрескиваются и отслаиваются, после чего удаляются скребками или металлическими щетками. В основном этот способ применяется для очистки от старой краски и ржавчины корпусных конструкций.

**Химическая очистка стальных изделий от ржавчины** производится путем травления их в разбавленных кислотах, содержащих ингибиторы. Под действием кислоты слой ржавчины отделяется от металла, в результате чего с деталей, вынутых из травильной ванны, ржавчина легко смывается водой. Ингибитор замедляет реакцию растворения металла в кислоте, не влияя на скорость растворения ржавчины. При очистке металла от ржавчины в ингибированной кислоте линейные размеры металлических изделий после травления не изменяются. При химической очистке от ржавчины применяются следующие ингибиторы: в серной кислоте – тиомочевина, тиодигликоль,  $\alpha$  и  $\beta$ -нафтиламин, регулятор травления (состав Р); в соляной кислоте – уротропин, регулятор травления (состав Р), ингибитор ПБ-5. Травление проводится в эмалированных, деревянных или стальных сварных ваннах. Поверхность стальных ванн должна быть защищена кислотостойким покрытием (резина, фаолит и др.). Температура травильного раствора и погружаемых в него изделий должна быть в пределах 10–30°C. Продолжительность травления определяется опытным путем в зависимости от состава травильного раствора, степени поражения ржавчиной поверхности изделий и свойств металла. Время, требуемое для травления, составляет от 20 мин до 20 ч. Ингибированную травильную кислоту используют примерно для 20 операций травления (закладок изделий) при средней продолжительности травления.

**Химический способ очистки поверхностей при помощи паст** применяется, когда необходимо снять продукты коррозии с вертикальных поверхностей крупногабаритного оборудования, обрабатывать которые растворами кислот, содержащих ингибиторы, затруднительно. Процесс обработки поверхностей при помощи паст включает в себя следующие операции:

- нанесение кислотной пасты на обрабатываемую поверхность;
- удаление пасты и промывку поверхности водой;
- нанесение на обрабатываемую поверхность пассивирующей пасты и промывку поверхности водой;
- удаление пасты, промывку водой и сушку обрабатываемой поверхности.

**Химическая очистка деталей из медных сплавов:**

- а) серная кислота (удельного веса 1,84) – 10%, вода – 90%;
- б) бисульфит натрия – 100г, вода – 1 л;
- в) серная кислота (удельного веса 1,84) – 30 см<sup>3</sup>, хромовый ангидрид – 90 г, хлористый натрий – 1 г, вода – 1 л.

**Обезжириванием** называется процесс удаления жиров и масел с поверхности деталей. Удаление с поверхности деталей жировых и масляных загрязнений производится при помощи веществ, которые растворяют жиры и масла или эмульгируют их.

При удалении жиров как органического, так и минерального происхождения можно применять органические растворители: бензин, скипидар, керосин, дихлорэтан, трихлорэтан, четыреххлористый углерод.

### ***2.1.2. Подготовка масел и смазок***

Как правило, масла и смазки выпускаются промышленностью в окончательно готовом к использованию виде. Однако для консервации судового оборудования требуется специальная подготовка их.

Большая часть применяемых при консервации смазок используется в расплавленном (подогретом) до жидкой консистенции состоянии. Масла применяются также в подогретом состоянии. Необходимость подогревания масел и смазок определяется тем, что при нанесении смазок в расплавленном состоянии образуемый ими слой обладает более высокими защитными свойствами. Кроме того, подогретая смазка лучше проникает во все узлы механизмов при консервации их без разборки. Подогревание масел и смазок необходимо также для удаления воды, которая может попасть в них в период хранения на складе, при транспортировке, разливке и т.д.

Значительное влияние на свойства смазок и масел оказывает способ подогревания их. Подогревание смазок и масел на открытом огне в баках при непосредственном соприкосновении с нагревательными элементами вызывает интенсивное окисление слоев, прилегающих к стенкам и элементам. Помимо окисления, масла и смазки начинают гореть и образуют продукты, активно взаимодействующие с металлами, расслаиваются, теряют свою стабильность и становятся не только непригодными для защиты деталей от коррозии, но и сами могут вызывать ее. Нагревание масел и смазок острым паром влечет за собой насыщение их влагой, приводит к образованию эмульсии; масла и смазки при этом практически не могут защищать детали от коррозии.

Любое подогревание смазок, особенно длительное, вызывает ускорение процесса окисления их кислородом воздуха, поэтому подопревать смазки следует лишь до температуры, обеспечивающей возможность нанесения защитного слоя необходимой толщины или получение необходимой вязкости для прокачки внутренних узлов механизмов.

При получении смазки на основании паспорта, а также контрольного нагревания небольшого количества смазки до температуры 100–120 °С необходимо определить, имеется ли в ней вода; при отсутствии воды партия смазки может подогреваться до температуры нанесения (пушечная смазка, технический вазелин до температуры 75–85° С).

Нецелесообразно подогревать масла и смазки в количестве больше потребного, так как вторичное подогревание смазки приводит к понижению ее стабильности, к излишним затратам электроэнергии, пара и т.д. Подготовка недостаточного количества смазки может привести к необходимости переконсервации оборудования, особенно крупногабаритного.

### ***2.1.3. Технология применения масел и смазок***

Надежность и длительность защиты металлических деталей от коррозии под слоем смазки или масел зависит не только от свойств смазки, но и от толщины нанесенного слоя, способа нанесения, масел или смазок. При прочих равных условиях, чем толще слой смазки, тем дольше смазка сможет защищать металл от коррозии, если только она не сползет с поверхности всем слоем. Оптимальная толщина слоя зависит от

качества смазки, механизма ее защитного действия и условий хранения оборудования. При применении доброкачественных защитных смазок в обычных условиях слой в 0,5–1 мм вполне достаточен, чтобы обеспечить защиту металла от коррозии в течение длительного времени.

Толщина слоя смазки не является определяющим фактором эффективной защиты оборудования. Независимо от толщины слоя смазка может эффективно защищать смазанные поверхности от коррозии только в том случае, если нанесенный слой сплошной, без разрывов и по возможности равномерной толщины. Равномерность толщины слоя, как и появление разрывов, зависит не только от свойств самой смазки, но и от метода ее нанесения.

При проведении консервации смазки обычно наносятся с помощью лопаточки, ветоши или окунанием деталей в расплавленную смазку. Для нанесения смазки в расплавленном состоянии применяются также кисти, шприцы, пульверизаторы. Значительное влияние на прилипаемость смазки к металлу и ее непроницаемость для водяных паров, а тем самым на защитную способность оказывают в слое смазки пузырьки воздуха. Пузырьков воздуха нет в смазке только в том случае, если она наносится в расплавленном состоянии путем окунания деталей в смазку. Поэтому метод окунания надо считать предпочтительным, если позволяют размеры, форма и конструкция детали. Особенно сильно насыщается слой смазки пузырьками воздуха при нанесении ее с помощью пульверизатора, а также при намазывании в нерасплавленном состоянии.

Метод нанесения смазки оказывает большое влияние и на толщину защитного слоя. Толщина слоя, остающегося на деталях после окунания их в расплавленную смазку, зависит от ее вязкости, которая в свою очередь зависит от температуры смазки. При необходимости нанесения сравнительно толстого слоя окунание производят при более низкой температуре; в тех же случаях, когда целесообразно наносить более тонкий слой, температуру смазки повышают.

У каждой смазки в зависимости от ее назначения при консервации имеется оптимальная температура нагрева, позволяющая получать слой смазки необходимой толщины. Так, при использовании смазки, состоящей из 75% авиационного масла МК-22 и 25% пушечной смазки, для консервации внутренних узлов механизмов без их разборки оптимальной температурой нанесения следует считать 70° С. Эта температура позволяет получить слой толщиной 0,33–0,36 мм, который достаточен для предохранения деталей от коррозии и в то же время устойчив при повышении температуры окружающей среды до 40° С. Повышение температуры смазки до 80–90° С приводит к значительному снижению толщины слоя.

Снижение температуры смазки в момент ее нанесения до 55–65° С приводит к росту толщины слоя, смазка начинает сползать всем слоем – «шубкой».

В случае динамического осушения воздух в помещениях корабля, а также при использовании защитной атмосферы смазки практически могут не применяться. В этих условиях достаточно применять масла, схожие по своим свойствам с рабочими маслами, но обладающие большей прилипаемостью к металлам, или использовать рабочее масла, загущая их небольшим количеством пушечной смазки, церезином, парафином и т.д. (в

последнее время все большее распространение для консервации корабельного оборудования начинают получать ингибированные масла и смазки).

Наилучшей технологией применения масел и смазок при консервации оборудования следует считать ту, которая обеспечивает при надежной защите деталей от коррозии возможность проведения консервации и расконсервации оборудования в полностью собранном и отрегулированном состоянии. Эти требования должны быть определяющими при выборе технологии применения масел и смазок.

## **2.2 Статическое осушение воздуха**

### **2.2.1 Влияние относительной влажности на коррозию**

Теоретически, если поверхность металла абсолютно ровная и чистая, конденсация паров воды на ней и, как следствие, коррозия наступают, лишь при величине относительной влажности окружающего воздуха 100%. При последующем снижении относительной влажности воздуха и частичном испарении капли конденсата на поверхности металла концентрация солей и кислот в капле может значительно возрасти, при этом скорость коррозии также возрастет. Коррозия в этом случае прекратится после полного испарения конденсата с поверхности металла.

Практически же вследствие наличия на поверхности металла различных капиллярных трещин, пор, а также гигроскопичной пыли, солей, продуктов коррозии вода может находиться на поверхности металла в жидкой фазе и при относительной влажности воздуха меньше 100%.

Необходимо также учитывать тот факт, что относительная влажность замкнутого объема воздуха находится в прямой зависимости от его температуры. Чем ниже температура воздуха в герметизированном корабельном помещении, тем выше относительная влажность воздуха при той же абсолютной влажности его.

Если температура поверхностей деталей механизма или корпуса ниже температуры окружающего воздуха, то в непосредственной близости от таких поверхностей относительная влажность воздуха будет отличаться от относительной влажности воздуха в других точках отсека и может достигнуть 100%, что приведет к выпадению росы на холодную поверхность.

Скорость коррозии убывает с уменьшением относительной влажности воздуха неравномерно. Быстрое падение скорости коррозии происходит при уменьшении относительной влажности воздуха примерно до 60%, но и при влажностях немногим ниже 60% скорость коррозии остается достаточно большой.

Снижение скорости коррозии до величины, которую практически можно не принимать во внимание, происходит только при относительной влажности воздуха 30–40%. Это объясняется следующим. В морской атмосфере всегда присутствуют различные соли (содержание морских солей в воздухе на берегу моря может достигать 0,85 мг/м), поэтому в условиях корабля некоторое количество морских солей всегда будет находиться и на поверхностях механизмов, корпуса и различного оборудования. Морские и другие соли гигроскопичны и при достаточно большой относительной влажности окружающего воздуха будут образовывать электролит. Влагопоглощающая

способность морских солей уменьшается с уменьшением относительной влажности окружающей атмосферы.

Обводняемость морских и других солей при относительной влажности воздуха менее 30–40% практически ничтожна, и естественно при такой влажности они уже не будут образовывать электролит. Таким образом, чтобы избежать опасной коррозии, необходимо поддерживать относительную влажность воздуха не более 30–40%. Обычно с учетом перекрытия возможных ошибок при определении влажности за оптимальные границы принимают относительную влажность 25–35%.

Сказанное выше подтверждает опыт. Так, при изучении зависимости коррозии от относительной влажности прямыми наблюдениями было установлено, что при относительной влажности окружающего воздуха 50% коррозия стали протекает в 10 раз медленнее, чем при влажности 80%, а при относительной влажности 30–40% коррозия практически прекращается.

### **2.2.2 Способы осушения воздуха**

**Осушение воздуха может быть осуществлено различными способами:**

- конденсационным;
- химическим;
- с помощью сорбентов-поглотителей.

**Конденсационный способ** заключается в охлаждении воздуха при помощи холодильной установки до температуры ниже точки росы, в результате чего часть влаги воздуха выпадает в виде росы или инея на холодильных элементах, снижая тем самым абсолютную влажность воздуха.

Данный способ осушения воздуха при консервации кораблей в настоящее время применения не находит из-за сложности холодильных установок и невозможности получить низкие значения относительной влажности при отрицательных температурах в отсеках.

**Химический способ** осушения заключается в следующем: воздух пропускается через вещества, вступающие в химическую реакцию с влагой, содержащейся в нем, и таким образом забирающие ее. В качестве химических поглотителей могут быть использованы  $\text{CuSCU}$ ,  $\text{CaCl}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  и другие вещества.

Широкому применению химических влагопоглотителей препятствуют их **недостатки:**

- невысокая в большинстве случаев степень осушки;
  - «оплывание» осушителя и возрастание его сопротивления потоку воздуха по мере обводнения;
  - большой расход осушителя вследствие невозможности повторного использования (из-за сложности регенерации);
  - необходимость частой замены осушителя.
- Этих недостатков нет у сорбентов-поглотителей.

**Осушение воздуха с помощью сорбентов-поглотителей** является наиболее простым и экономичным способом, который в последние годы получил широкое



применение. Осушение воздуха с помощью сорбентов-поглотителей применяется на флоте в двух формах – статической и динамической.

В первом случае (статическое осушение) сорбент-поглотитель размещается в загерметизированном осушаемом объеме и поглощает влагу из воздуха, находящегося в нем в неподвижном состоянии.

Во втором случае (динамическое осушение) воздух с помощью специальной установки забирается из загерметизированного объема, пропускается через слой сорбента-поглотителя, осушается в нем и вновь подается в загерметизированный объем.

Эффективность применения статического и динамического способов осушения воздуха зависит от ряда причин, находящихся в тесной взаимосвязи:

1. от качества герметизации осушаемых объемов;
2. от степени удаления конденсированной и остаточной влаги из осушаемых объемов;
3. от качества подготовки сорбента-поглотителя к закладке в осушаемые объемы;
4. от правильности размещения сорбента-поглотителя в осушаемом объеме при статическом способе и правильности распределения воздуха в осушаемых отсеках при динамическом способе осушения;
5. от надежности и регулярности контроля за влажностью воздуха в осушаемых объемах;
6. от своевременности регенерации обводненного сорбента-поглотителя.

### **2.2.3 Силикагель**

Основные требования, предъявляемые к твердым сорбентам-поглотителям, применяемым при консервации кораблей, следующие:

1. большая поглощающая способность по отношению к парам воды и большая скорость сорбции как в статических, так и в динамических условиях;
2. высокая механическая прочность;
3. сохранение механической прочности и отсутствие деформаций при поглощении паров воды;
4. инертность по отношению к металлам и другим материалам, применяемым в кораблестроении;
5. возможность легкой и простой многократной регенерации с сохранением первоначальных свойств.

Наиболее полно этим требованиям отвечают сорбенты-поглотители: силикагель, алюмогель, феррогель, активный кремнезем, активированный боксит и др.

Сорбенты-поглотители не изменяют своих механических свойств при насыщении влагой и легко могут быть регенерированы подогреванием. Срок службы сорбентов-поглотителей практически неограничен и определяется только механической прочностью зерен. При многократной регенерации сорбента его влагопоглощающие свойства практически не изменяются. Известны случаи, когда сорбенты-поглотители непрерывно работали до 10 лет и более.

В настоящее время в технике наибольшее распространение в качестве сорбента-поглотителя получил силикагель, представляющий собой твердые стекловидные зерна с пористым строением и отличающийся большой поверхностью и равномерным распределением пор. Удельная поверхность силикагеля достигает 300–400 м<sup>2</sup>/г.

В зависимости от формы зерен силикагель разделяют на кусковой и гранулированный. Гранулированный силикагель имеет зерна округлой формы более или менее одинакового размера. Для прочности в гранулированный силикагель в виде добавки вводится от 4 до 10% окиси алюминия.

***Промышленность выпускает несколько марок силикагеля.***

**А. Кусковой силикагель**

- а) силикагель мелкопористый:  
КСМ – крупный силикагель мелкопористый;  
ШСМ – шихта-силикагель мелкопористый;  
МСМ – мелкий силикагель мелкопористый;  
АСМ – активизированный силикагель мелкопористый;
- б) силикагель крупнопористый:  
КСК – крупный силикагель крупнопористый,  
ШСК – шихта-силикагель крупнопористый,  
МСК – мелкий силикагель крупнопористый,  
АСК – активизированный силикагель крупнопористый.

**Б. Гранулированный силикагель**

- а) силикагель мелкопористый:  
КСМ – крупный силикагель мелкопористый с упрочняющей добавкой глинозема,  
ШСМ – шихта-силикагель мелкопористый с упрочняющей добавкой глинозема;
- б) силикагель крупнопористый:  
КСК – крупный силикагель крупнопористый;  
ШСК – шихта-силикагель крупнопористый.

После марки всегда указывают, какой силикагель: кусковой или гранулированный.

Рассмотрим некоторые свойства силикагеля. Осушающая способность силикагеля характеризуется так называемой ***изотермой сорбции***, представляющей собой кривую зависимости максимальной обводненности силикагеля от относительной влажности осушаемого воздуха при постоянной температуре.

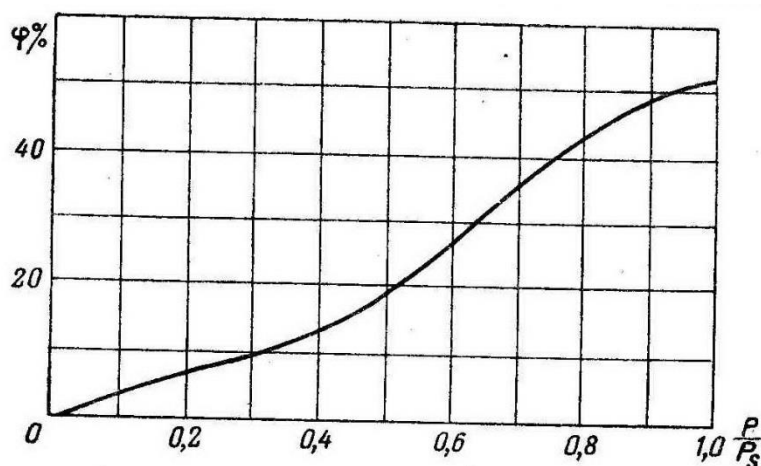


Рисунок 2.1 – Изотерма сорбции для крупнопористого силикагеля

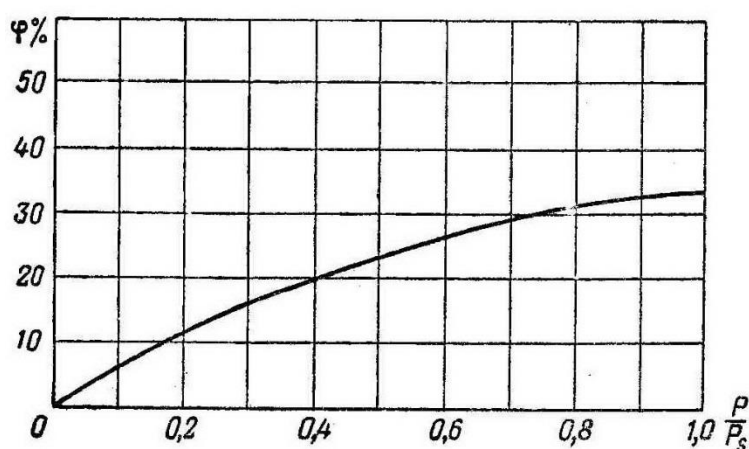


Рисунок 2.2 – Зависимость Изотерма сорбции для мелкопористого силикагеля

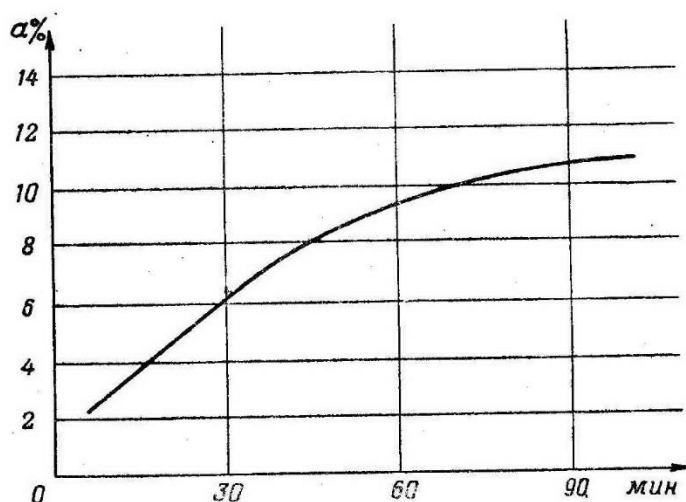
По оси абсцисс отложены значения относительной влажности воздуха в процентах, по оси ординат – максимальная обводненность силикагеля в процентах от первоначального веса сухого силикагеля.

Как видно из графиков, при высокой относительной влажности воздуха большей влагоемкостью обладает крупнопористый силикагель, при относительной же влажности ниже 60% большую влагоемкость имеет мелкопористый силикагель.

При хранении законсервированной материальной части в условиях статического или динамического осушения воздуха относительная влажность воздуха должна быть ниже 60%, поэтому крупнопористый силикагель для консервации судов не применяется.

Характеристики осушающей способности силикагеля по изотерме сорбции недостаточно, существенное значение имеет скорость поглощения паров воды.

В статических условиях (в атмосфере неподвижного воздуха) сорбционное равновесие, т.е. полное насыщение силикагеля, при относительной влажности воздуха 100% наступает в срок до 20 суток, причем за первые трое суток силикагель поглощает до 50% влаги от полной сорбционной емкости.



**Рисунок 2.3 – Зависимость обводненности силикагеля от времени в динамических условиях**

В динамических же условиях (в условиях пропускания потока осушаемого воздуха через слой силикагеля) время наступления сорбционного равновесия исчисляется всего несколькими часами. Наибольшую скорость сорбции в динамических условиях силикагель имеет в первые 15 мин, за это время он поглощает до 50% влаги от полной сорбционной емкости.

Процесс сорбции паров воды силикагелем сопровождается выделением тепла, т.к. при конденсации паров воды освобождается скрытая теплота парообразования.

Сопротивление слоя силикагеля току воздуха зависит от величины и формы зерен, высоты слоя и скорости движения воздуха через слой силикагеля.

Восстановление (регенерация) обводненного силикагеля происходит при подогреве его до температуры от 100 до 650° С.

Наиболее эффективный способ восстановления силикагеля – это продувка его горячим воздухом при температуре 140–150° С.

#### **2.2.4 Герметизация осушаемых объемов**

**Герметизация осушаемых объемов** является одним из важнейших условий статического и динамического способов осушения воздуха. От качества герметизации сильно зависит влажность воздуха, срок эффективного действия силикагеля при статическом осушении, время достижения и срок сохранения низкой влажности воздуха при динамическом.

Герметизации подлежат отсеки, группы отсеков, весь корпус корабля по внешнему контуру (общая герметизация), отдельные механизмы, приборы, системы, устройства (индивидуальная герметизация).

Общая герметизация применяется при динамическом осушении всех типов кораблей с металлическими корпусами и при статическом осушении малых надводных кораблей, катеров с металлическими корпусами.

Индивидуальная герметизация применяется в сочетании со статическим осушением при консервации механизмов кораблей и катеров с деревянными корпусами,

некоторых палубных механизмов, различного оборудования, расположенного в трудногерметизируемых помещениях, оборудования, хранящегося на складах, и др.

### **Особенности общей и индивидуальной герметизации.**

*Общая герметизация корпуса* разделяется на герметизацию подводной и надводной частей.

Герметизацию надводной части корпуса корабля рекомендуется производить после окончания доковых работ и ухода личного состава с корабля, так как полностью герметизировать корпус можно только после вывода из эксплуатации всей материальной части.

Прежде чем приступить к герметизации корпуса корабля, его необходимо разделить на отдельные объемы (отсеки), изолированные друг от друга водонепроницаемыми переборками, изучить особенности герметизации каждого такого объема в отдельности (максимально используя существующее разделение корабля на самостоятельные отсеки и помещения), определить возможность выделения надстроек в самостоятельные объемы или включение их, в другие объемы корабля, назначить двери, люки и горловины, подлежащие периодическому вскрытию при осмотрах материальной части, и, наконец, определить порядок герметизации и испытания на герметичность каждого такого объема в отдельности.

Особое внимание нужно обращать на тщательность герметизации отверстий, выходящих на внешний контур. При выборе способа герметизации отверстий, выходящих на внешний контур.

Большие отверстия: дымовые трубы главных котлов, вентиляционные шахты машинно-котельных отделений, амбразуры артиллерийских башен герметизируются при помощи стальных листов (заглушек), устанавливаемых на шпильках или завариваемых электросваркой. Заглушки завариваются сплошным или прерывистым швом. Зазоры, остающиеся при установке заглушек на шпильках или при заваривании прерывистым швом, уплотняются замазками.

Для заглушек, завариваемых сплошным швом, рекомендуется применять листовую сталь толщиной не менее 3 мм во избежание прожогов как в самой заглушке, так и в завариваемой конструкции. Не следует брать сталь толщиной менее 3 мм при установке заглушек на шпильках или на электросварке прерывистым швом, так как для уплотнения остающихся зазоров замазками жесткость листовой стали может оказаться недостаточной.

Герметизация отверстий при помощи стальных заглушек на шпильках может быть выполнена двумя способами:

1. установкой заглушки без резиновой прокладки на 8–10 шпильках, привариваемых к конструкции корпуса по контуру герметизируемого отверстия; зазоры, остающиеся между заглушкой и корпусом, уплотняются замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой; при подгонке заглушки на плотность прилегания к корпусу зазор допускается до 5 мм;

2. установкой заглушки на рамку из углового железа, согнутую по контуру отверстия и привариваемую к конструкции корпуса прерывистым швом с шагом 800–900 мм; заглушка устанавливается на мягкую резиновую прокладку и крепится шпильками, предварительно вваренными в рамку с шагом 7–8 диаметров; зазор,

образующийся между корпусом и полкой угольника, уплотняется замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой.

Рекомендуется применять первый способ, как наиболее простой и экономичный. Указанным способом герметизируются, например, отверстия вентиляционных шахт машинно-котельных отделений.

Малые отверстия, а также зазоры, имеющие ширину более 5 мм, заклеиваются прорезиненной тканью 500 или МСК-01-К.

При наличии штатных заdraивающих средств герметизация осуществляется этими средствами с дополнительным уплотнением контура отверстий замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой. Заклепочные швы кожухов дымовых труб уплотняются масляной шпаклевкой (70–75% мела и 30–35% натуральной олифы).

Вентиляционные грибки, эжекционные головки и газонепроницаемые крышки систем вентиляции корабля, помимо заdraивания их штатными средствами, дополнительно герметизируются стальными, резиновыми или паронитовыми (толщиной 2–3 мм) заглушками, устанавливаемыми между фланцами грибков и фланцами их патрубков.

Воздушные трубы топливных цистерн при наличии в них топлива герметизации не подлежат.

Люки и двери, выходящие на открытую палубу и предназначенные для периодического вскрытия, плотно заdraиваются, стопорятся и дополнительно герметизируются замазкой ЗЗК-3.

Для обеспечения непотопляемости корабля все водонепроницаемые люки и двери, находящиеся внутри помещений, следует держать заdraенными в течение всего периода стоянки корабля в консервации.

Отверстия иллюминаторов закрываются крышками затемнения, иллюминаторы заdraиваются и дополнительно герметизируются замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой с внешней стороны помещения.

Качество герметизации корпуса корабля проверяется заполнением отдельных его отсеков или группы отсеков сжатым воздухом давлением 200–250 мм вод. ст.

Давление воздуха внутри отсеков замеряется при помощи U-образного водяного манометра или тягомера, применяемого для котельных отделений на турбинных кораблях.

При заполнении отсеков сжатым воздухом нужно следить за тем, чтобы давление в них не превысило назначенного, т.е. 200–250 мм вод. ст. (во избежание разрушения или деформации корпусных конструкций), для чего необходимо предупреждать засорение манометровых трубок и применять контрольный манометр.

Сжатый воздух, подаваемый в отсеки, следует пропускать через масловодоотделитель с целью уменьшения количества воды и масла, вносимых в помещения корабля. Во время нахождения отсеков под давлением определяются места утечек воздуха путем промывивания швов и соединений мыльным раствором, при этом давление воздуха в отсеках поддерживается постоянным.

Обычно в начальный период испытания выявляется большое количество мест пропуска воздуха по главным водонепроницаемым переборкам и надстройкам, при этом выявляется много таких пропусков, которые трудно бывает обнаружить без испытания

отсеков. Особенно тщательно нужно устранять пропуски воздуха по внешнему контуру корабля.

Непроницаемость наружной обшивки корпуса корабля в подводной части проверяется вовремя докования (в районах ремонта корпуса и в местах течи, обнаруженной в период эксплуатации корабля).

Герметичность отсека или группы отсеков считается достаточной, если время падения давления воздуха от полного до нуля после прекращения его подачи будет не менее 15 мин.

*Индивидуальная герметизация* материальной части в зависимости от ее конструктивного оформления, расположения и условий хранения может быть осуществлена различными способами.

Так, конструкция ряда механизмов и аппаратуры, расположенных в корабельных помещениях, позволяет производить герметизацию их полостей штатными крышками лючков, горловин, заклеиванием щелей и отверстий тканью № 500, резиной или другими воздухонепроницаемыми материалами, обмазкой щелей замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой. Это наиболее простой и экономичный вид индивидуальной герметизации.

Палубное оборудование и вооружение, расположенное на открытых частях палубы и открытых мостиках, в ряде случаев защищаются (герметизируются) от воздействия наружной атмосферы путем упаковки их в специальные чехлы-контейнеры. Чехлы-контейнеры могут быть пленочные и металлические. Металлические контейнеры делают из листовой стали. Они много прочнее, герметичнее и долговечнее пленочных. Эти преимущества имеют огромное значение для корабля, находящегося длительное время в консервации под постоянным воздействием морской атмосферы, солнечных лучей, осадков и ветров, которые являются основными причинами старения и разрушения пленочных покрытий. В конечном итоге стальные контейнеры экономичнее, более выгодны, поэтому для герметизации палубного оборудования и вооружения на консервируемых кораблях рекомендуется применять, стальные контейнеры. Размеры контейнера при изготовлении определяются габаритами изделия и необходимостью кругового обзора изделия непосредственно внутри контейнера. Для возможности осмотра изделия на одной из стенок контейнера сделан лаз с крышкой, задраиваемой при помощи латунных шпилек и гаек. Для замены силикагеля и контроля за влажностью воздуха внутри контейнеров устанавливается открывающийся иллюминатор. При наличии лаза иллюминатор целесообразно устанавливать на его крышке.

Нижняя кромка стального контейнера подгоняется по поверхности палубы с зазором не более 5 мм и приваривается к настилу палубы прерывистым швом с шагом 10/500 мм. Остающиеся зазоры уплотняются тиоколовой замазкой на клею № 88 или № 61.

Для защиты замазки от механических повреждений вокруг контейнера на расстоянии 20–25 мм от его стенок приваривается стальная полоса 3х20 мм прерывистым швом с шагом 10/1000 мм.

Герметичность контейнеров, предназначенных для статического осушения воздуха, проверяется созданием в них воздушного давления 200–250 мм вод. ст. Места

утечек определяются промыванием швов и соединений мыльным раствором, при этом давление воздуха внутри контейнеров поддерживается постоянным. Все выявленные утечки воздуха по внешнему контуру контейнеров должны быть устранены.

Проверку герметичности контейнеров с динамическим осушением воздуха целесообразно производить одновременно с испытанием на герметичность отсеков корабля, в состав которых включены объемы данных контейнеров.

Приборы и устройства, герметизация которых при помощи стальных контейнеров невозможна или затруднена, упаковываются в чехлы из пластикатных пленок или прорезиненных тканей (например, аппаратура выносного индикатора кругового обзора, коммутаторы внутрикорабельной громкоговорящей связи, прожекторы и т.д.).

В последние годы для индивидуальной герметизации механизмов, приборов и различного оборудования, особенно на складах, получают широкое применение чехлы из пластикатных пленок (полихлорвиниловой В-118, полиэтиленовой) или прорезиненных тканей. Законсервированный с помощью смазок механизм помещается в герметический чехол из этих материалов.

Хранения оборудования в чехлах из эластичных пленок обеспечивает сохранность его в течений 2 лет без замены смазки, в то время как без чехлов требует смены консервирующей смазки через 6–12 мес.

Мелкие и средние приборы, узлы механизмов и вооружения, которые демонтируются на период консервации, могут быть помещены в чехлы, свариваемые на самом оборудовании, что обеспечивает полную герметизацию. Такие чехлы называются закрытыми.

Крупногабаритное и тяжеловесное оборудование упаковывается в открытые снизу чехлы, края которых уплотняют на основании упаковки резиновыми прокладками. Между основанием оборудования и основанием ящика укладывается сплошной металлический лист толщиной 3–4 мм.

### ***2.2.5 Подготовка и процесс статического осушения воздуха***

Процесс обезвлаживания герметизируемого объема можно разбить на два этапа.

**Первый этап** охватывает период подготовки объемов, подлежащих осушке, к герметизации и включает в себя удаление воды путем откачки ее из трюмов и протирки их ветошью, откачки и сливания воды из трубопроводов и полостей различных механизмов и продувания их сухим сжатым воздухом.

Предварительное осушение герметизируемого объема имеет особое значение. Силикагель обладает ограниченной влагоемкостью, и, чтобы добиться низкой относительной влажности воздуха и поддерживать ее в дальнейшем в заданных пределах, необходимо полное удаление воды, находящейся в жидкой фазе. Чем выше степень предварительной осушки, тем больше срок эффективного действия силикагеля.

**Второй этап** охватывает период хранения корабля или механизма в консервации и заключается в поглощении силикагелем влаги воздуха и влаги, сорбированной различными неметаллическими материалами (изоляцией, деревом и др.).



При идеальной герметизации осушаемого объема и отсутствии в нем воды в жидкой фазе по мере увеличения обводненности силикагеля будет падать относительная влажность воздуха, так как количество влаги в данном объеме (включая и влагу, отобранную силикагелем) должно оставаться постоянным, и в некоторый момент наступит равновесное состояние системы силикагель – воздух. В случае попадания некоторого количества влаги в осушаемый объем извне, равновесное состояние нарушается, силикагель поглотит дополнительное количество влаги и снова наступит равновесное состояние, но большей обводненности силикагеля будет уже соответствовать и большая относительная влажность воздуха. Так как идеальной герметизации достигнуть не удастся, практически процесс роста обводненности силикагеля и связанного с этим роста относительной влажности воздуха будет происходить непрерывно. В этих условиях сроки смены силикагеля будут определяться качеством герметизации осушаемого объема и количеством помещенного в нем силикагеля. Опытом установлено, что количество силикагеля, помещаемого внутрь осушаемого объема, должно быть не менее 1 кг на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

В начале статического осушения воздуха из-за десорбции влаги из неметаллических материалов скорость обводнения силикагеля будет повышенной. Для сокращения времени десорбции и скорейшего достижения низкой относительной влажности воздуха целесообразно первые один – два месяца производить регенерацию силикагеля при обводненности его на 12–15%, так как с увеличением его обводненности и уменьшением относительной влажности воздуха значительно уменьшается скорость поглощения влаги. В дальнейшем регенерация силикагеля производится при обводненности его на 18–20%. Следует иметь в виду, что в случае статического осушения воздуха силикагель подлежит немедленной регенерации независимо от степени обводненности при увеличении относительной влажности воздуха в осушаемом объеме до установленных пределов.

Рассмотрим технологию использования силикагеля и контроль за параметрами воздуха в осушаемых объемах.

Перед расфасовкой и загрузкой силикагель проверяется на обводненность. Проверка на обводненность производится путем отбора навески (100–200 г) от каждой партии силикагеля и просушке ее в сушильном шкафу при температуре 150–200 °С в течение 3 ч. Если после этого вес навески уменьшился не более чем на 1,5–2%, то тот силикагель, находившийся в данной таре, считается сухим.

В противном случае производится регенерация (просушка) всего используемого силикагеля. Сухой силикагель хранится в герметичной таре. Для расфасовки силикагеля используются мешочки из какой-либо ткани, достаточно прочной и хорошо проницаемой для воздуха. Обычно для мешочков используют бязь, которая для лучшей воздухопроницаемости должна быть постирана в горячей воде. Для предотвращения пыления мешочки внутри выкладываются микалентной бумагой.

Размеры мешочков зависят от величины и характера герметизируемого объема, вес силикагеля в них обычно не превышает 250–300 г, форма их может быть самой различной и зависит от условий размещения. При размещении мешочков необходимо следить, чтобы они не соприкасались с маслом, так как в случае попадания масла на силикагель последний теряет свои влагопоглощающие свойства. Следует также

предусмотреть возможность быстрого и полного удаления всех мешочков при расконсервации механизма, для чего в журнале консервации указываются количество и места размещения их.

Контроль за состоянием механизма, законсервированного таким способом, сводится к наблюдению за величиной относительной влажности воздуха и обводненностью силикагеля, размещенного в герметизированной полости механизма. В ряде случаев, когда вместо штатной крышки лючка, на горловины можно установить крышку из прозрачного материала (например, из органического или иллиuminаторного стекла), наблюдение за относительной влажностью воздуха производится с помощью круглого гигрометра МВК, помещаемого в герметизируемой полости.

Если разместить гигрометр внутри осушаемого объема нельзя, то относительную влажность контролируют косвенными способами – по обводнённости силикагеля. Для этой цели один из мешочков с силикагелем, так называемый контрольный, перед помещением в герметизируемую полость тщательно взвешивают, затем вовремя плановопредупредительных осмотров определяют процент обводнённости силикагеля, т. е. процент увеличения веса мешочка по сравнению с первоначальным его весом. Если контрольный мешочек увеличит свой вес на 20% и больше, весь силикагель необходимо заменить, так как при этом его влагопоглощающая способность становится весьма малой.

Другим способом контроля за влажностью воздуха в полости механизма за обводненностью силикагеля является применение силикагеля-индикатора, представляющего собой силикагель, пропитанный хлористым кобальтом. Применение силикагеля-индикатора основано на свойстве хлористого кобальта изменять свою окраску в зависимости от обводненности, которая в свою очередь зависит от относительной влажности окружающего воздуха. С увеличением относительной влажности воздуха силикагель-индикатор изменяет свой цвет от синего до розового. Для удобства использования силикагель-индикатор помещают в специальные проницаемые для воздуха патроны, изготовленные из прозрачного материала (например, из органического стекла), на которые наклеивается шкала цветности, показывающая зависимость цвета силикагеля от относительной влажности окружающего воздуха.

Патроны с силикагелем-индикатором размещаются так, чтобы было обеспечено визуальное наблюдение за ними. При пользовании силикагеля-индикатора необходимо учитывать его большую инерционность, т. е. запаздывание в изменении цвета при изменении относительной влажности воздуха, достигающую нескольких суток.

В качестве дополнительного контроля за состоянием внутренних деталей механизма там, где это возможно по условиям размещения, могут использоваться так называемые «свидетели». «Свидетели» представляют собой различные мелкие детали или образцы произвольной формы и размера, сделанные из металлов, используемых в данном механизме. Поверхность «свидетелей» подвергается грубой обработке (резцом или на наждачном круге) с тем, чтобы в случае возникновения коррозии последняя проявилась, в первую очередь на «свидетелях». Часть «свидетелей» обычно покрывается той смазкой, которой законсервирован механизм, а часть оставляется без

всякой смазки. «Свидетели» размещаются так, чтобы была обеспечена возможность визуального наблюдения за ними.

Герметизация отсеков корабля или внутренних полостей механизмов со статическим осушением воздуха в них увеличивает надежность сохранности механизма, однако этот способ консервации имеет и существенные недостатки:

1. трудность осуществления контроля за величиной относительной влажности воздуха внутри герметизированного объема и за состоянием внутренних деталей механизма;
2. большие колебания относительной влажности воздуха внутри герметизированного объема при изменениях температуры, происходящих из-за малой скорости сорбции силикагелем в статических условиях;
3. невозможность надежной защиты от коррозии наружных поверхностей и различных навесных агрегатов механизма;
4. значительный объем работ при консервации и необходимость периодически заменять силикагель.

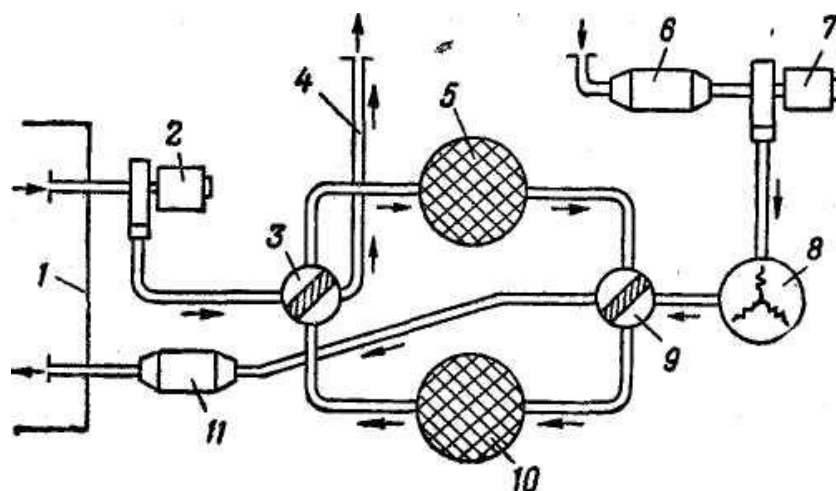
Таким образом, данный способ консервации имеет ограниченное применение и должен использоваться там, где почему-либо нельзя применить динамическое осушение воздуха всего корабля или части его отсеков.

## **2.3 Динамическое осушение воздуха**

### **2.3.1 Воздухоосушительные установки**

При динамическом способе осушаемый воздух принудительно пропускается через слой силикагеля в так называемой установке динамического осушения воздуха. С помощью такой установки легко удастся поддерживать относительную влажность воздуха в осушаемых корабельных помещениях в пределах 25–40%, т.е. в таких пределах, когда коррозия металлов практически прекращается.

Принципиальная схема установки динамического осушения воздуха изображена на рисунке 2.4. Воздух из осушаемого объема забирается вентилятором 2 и через воздухопереключатель 3 направляется в адсорбер 5. В адсорбере воздух, проходя через слой силикагеля, осушается. Таким образом осуществляется постоянная циркуляции воздуха из осушаемого объема через адсорбер снова в осушаемый объем.



2, 7 – вентилятор; 3, 9 – воздухопереключатель; 4 – патрубок; 5, 10 – адсорбер;  
6 – фильтр; 8, 11 – воздушоподогреватель

**Рисунок 2.4 – Принципиальная схема воздухоосушительной установки**

Одновременно с работой одного адсорбера на осушку воздуха (в данном случае адсорбера 5) может производиться регенерация (сушка) силикагеля в другом адсорбере.

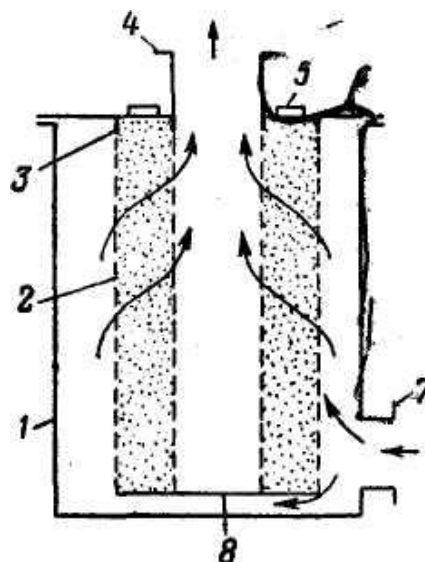
В рассматриваемой схеме регенерация силикагеля в адсорбере 10 происходит следующим образом. Вентилятор 7 через фильтр 6 забирает наружный воздух и направляет его в электрический воздушоподогреватель 8.

Подогретый до температуры 140–170°C воздух через воздухопереключатель 9 направляется в адсорбер 10, где он подогревает силикагель и отбирает от него влагу. Увлажненный воздух из адсорбера 10 через воздухопереключатель 3 и патрубок 4 отводится в атмосферу. После увлажнения силикагеля в адсорбере 5 воздухопереключатели 3 и 9 поворачиваются на 90° и воздух из осушаемого объема направляется в адсорбер 10.

Переключение адсорберов производится через определенное время по расписанию, которое составляется исходя из влагосодержания воздуха в осушаемых помещениях.

Все узлы и детали установки динамического осушения воздуха весьма просты по конструкции и легко могут быть изготовлены в условиях судоремонтных предприятий.

Адсорберы являются основным узлом установки, устройство их схематично показано на рисунке 2.5. В стальном цилиндрическом корпусе 1 сварной конструкции размещается цилиндрическая кассета 2, заполненная силикагелем. Стенки кассеты изготовлены из стальной сетки с ячейкой размером 2х2 мм.



1 – цилиндрический корпус; 2 – цилиндрическая кассета; 4, 7 – патрубок;  
5 – заглушки; 6 – фланец; 8 – дно

**Рисунок 2.5 – Принципиальная схема адсорбера**

Верхняя часть кассеты крепится к фланцу 6, нижняя часть представляет собой сплошное дно 8. Фланец 6 имеет патрубок 4 для прохода воздуха и заглушки 5 для загрузки силикагеля в кассету.

Пройдя через слой силикагеля, сухой воздух поступает во внутреннюю цилиндрическую полость кассеты и далее в магистраль, крепящуюся к фланцу в верхней части адсорбера. Во время регенерации силикагеля направление движения воздуха обратное – от воздухоподогревателя к верхнему фланцу адсорбера и далее от нижнего патрубка в атмосферу.

Для уменьшения тепловых потерь в режиме регенерации силикагеля адсорберы изолированы снаружи асбоцементом или асбестовым шнуром и обшиты парусиной.

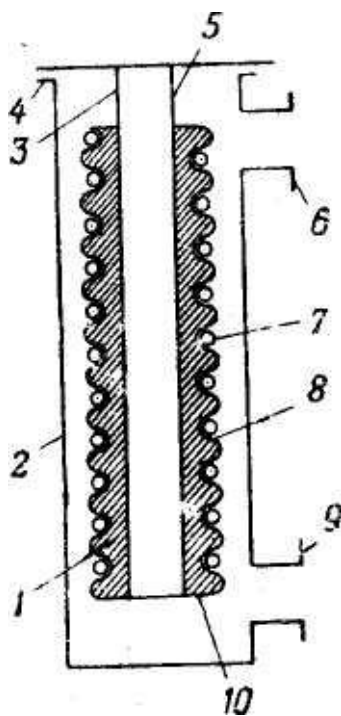
Переключатели воздуха служат для изменения направления потока воздуха при периодическом переключении адсорберов с режима осушки воздуха на режим регенерации силикагеля и наоборот.

**Устройство переключателя.** В стальном сварном корпусе с четырьмя патрубками помещается перегородка, которая может вращаться вокруг оси.

Смена направления движения потока воздуха достигается поворотом перегородки 2 на 90°. После установки на место переключатели изолируются асбестовыми матрацами. Воздухоподогреватель (рисунок 2.6) служит для подогревания воздуха в режиме регенерации силикагеля. Воздухоподогреватель состоит из корпуса 2 с патрубками 6 и 9 и фланцем 4 и нагревательного элемента 5, помещенного внутри корпуса. Корпус 2 стальной, цилиндрической формы, сварной конструкции. Нагревательный элемент представляет собой стальную трубу 3 с глухим фланцем 10 в нижней части. На фланце 10 уложены шамотные изоляторы с трехзаходной винтовой канавкой 8, в которую уложены три нихромовые спирали 7. Нихромовые спирали 7 в зависимости от их длины и напряжения истин, ц тока могут подключаться в сеть трехфазного переменного тока треугольником или звездой. Подогреватель рассчитывается только на работу в условиях охлаждения спиралей воздухом, поэтому

его нельзя включать без пуска вентилятора регенерации и открытия заслонок на трубопроводе регенерации.

Для увеличения КПД корпус подогревателя снаружи, а также трубопровод воздуха от него до адсорберов покрываются тепловой изоляцией.



1, 8 – канавка; 2 – перегородка; 3 – труба; 4, 10 – фланец; 5 – нагревательный элемент; 6, 9 – патрубки; 7 – нихромовые спирали;

**Рисунок 2.6 – Воздухоподогреватель**

*Воздушные фильтры* служат для предотвращения засорения силикагеля частицами пыли, содержащейся в наружном воздухе, в режиме регенерации, а также для предотвращения попадания частиц силикагеля из адсорберов в осушаемый объем.

Установка имеет два одинаковых фильтра, один из которых устанавливается на трубопроводе регенерации до воздухоподогревателя, другой на трубопроводе сухого воздуха от установки в осушаемый объем.

Электровентиляторы служат для создания принудительной циркуляции воздуха из осушаемого объема через осушительную установку и снова в осушаемый объем, а также для продувки горячим воздухом силикагеля в адсорберах в режиме регенерации. В используемых в настоящее время при консервации кораблей установках динамического осушения воздуха применяются два типа электровентиляторов: один производительностью 800 м<sup>3</sup>/ч при напоре 450 мм вод. ст. – в магистрали осушки воздуха, другой производительностью 250 м<sup>3</sup>/ч при напоре 450 мм вод. ст. – в магистрали регенерации силикагеля.

В зависимости от требуемого напора воздуха на выходе из установки могут применяться один или два последовательно работающих электровентилятора первого типа.

Параметры осушительных установок должны удовлетворять основному требованию – обеспечить поддержание относительной влажности воздуха в осушаемых

корабельных помещениях в пределах 25–40%. Ясно, что это требование будет удовлетворено только в случае правильного расчета и подбора элементов осушительной установки.

Ниже приводится упрощенная схема расчета и подбора элементов установок динамического осушения воздуха.

**Производительность установки** выбирается исходя из величины осушаемого объема, приходящегося на одну установку, по эмпирической формуле:

$$Q = \frac{V}{k} \quad (2.1)$$

где  $Q$  – производительность осушительной установки,

$V$  – осушаемый объем, м<sup>3</sup>;

$k = 2,5 \div 3$  – коэффициент, полученный опытным путем.

Коэффициент  $k$  характеризует собой время в ч, в течение которого должен произойти один обмен воздуха в осушаемом объеме. Величина коэффициента  $k$  выбирается в зависимости от качества герметизации осушаемого объема. Так, для подводных лодок, где качество герметизации весьма высокое, принимают  $k = 3$ , для надводных кораблей, качество герметизации которых гораздо ниже, принимают  $k = 2,5$ .

Напор, который должна дать осушительная установка, зависит от величины гидравлического сопротивления внешней сети, по которой производится распределение сухого воздуха по корабельным помещениям, и должен быть достаточным для того, чтобы обеспечить подачу необходимого количества сухого воздуха в осушаемые помещения.

Потеря напора в системе распределения сухого воздуха может быть найдена для каждого типа корабля по ее характеристике (если таковая имеется) или опытным путем в результате продувки системы и определения зависимости расхода воздуха от напора.

**Количество силикагеля** в одном адсорбере определяется по формуле:

$$G = \frac{\rho Q (d_2 - d_1) t}{(\alpha - \alpha_0) 10} \quad (2.2)$$

где  $G$  – вес сухого силикагеля в одном адсорбере, кг;

$Q$  – производительность установки, м<sup>3</sup>/ч;

$d_2$  – влагосодержание воздуха в осушаемом объеме при относительной влажности 35%, г/кг;

$d_1$  – влагосодержание воздуха в осушаемом объеме при относительной влажности 25%, г/кг;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$t$  – время эффективной работы адсорбера до регенерации, ч;

$\alpha$  – обводненность силикагеля в адсорбере в конце периода эффективной работы его, %;

$\alpha_0$  – остаточная обводненность силикагеля в адсорбере после регенерации, %.

Влагосодержание воздуха в осушаемом объеме определяется как относительной влажностью, так и температурой его. Величины  $d_1$  и  $d_2$  следует брать для средней температуры воздуха в осушаемых помещениях за наиболее жаркий месяц в данной местности.

Плотность воздуха в помещениях  $\rho$  берется также для средней температуры его за наиболее жаркий месяц.

Время эффективной работы адсорбера принимается  $t = 1,5-2$  ч., где  $t$  – время регенерации силикагеля в одном адсорбере. Это условие необходимо соблюдать для обеспечения возможности непрерывной работы установки на осушение воздуха.

Обычно принимают  $t = 1$  ч, тогда мощность электрического воздухонагревателя определяется по эмпирической формуле:

$$N = \frac{G}{4 \div 4,5}, \text{ кВт} \quad (2.3)$$

где  $G$  – вес силикагеля, в кг.

По опытным данным принимается  $\alpha = 9 \div 9,5 \%$ ,  $\alpha_0 = 2 \div 2,5 \%$ .

**Производительность вентилятора воздухонагревателя** принимают по соотношению:

$$Q = (14 \div 16)N, \text{ м} \quad (2.4)$$

При выборе конструктивных элементов адсорбера основным соображением является соблюдение условий по расходу воздуха через единицу поверхности слоя силикагеля, который не должен превышать  $1 \div 1,2 \text{ л/см}^2 \cdot \text{мин}$ .

Для соблюдения этих условий размеры кассеты адсорбера (рисунок 2.7) выбираются следующим образом.

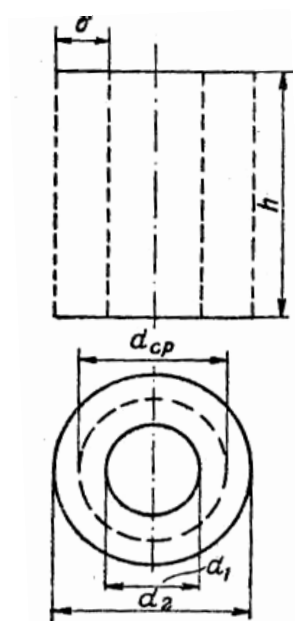


Рисунок 2.7 – Эскиз кассеты адсорбера



Зная из формулы (2.2) вес силикагеля, находим его **объем**:

$$V = \frac{Q}{\rho} = \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{4}, \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

Поверхность цилиндра по **среднему диаметру**:

$$S_{\text{ср}} = \pi d_{\text{ср}} h, \text{ м}^2 \quad (2.6)$$

**Расход воздуха** через поверхность  $S_{\text{ср}}$ :

$$q = \frac{Q}{S_{\text{ср}} \cdot 600}, \frac{\text{л}}{\text{мин} \cdot \text{см}^2} \quad (2.7)$$

$Q$  – производительность установки, и принимая  $q = 1 \div 1,2 \frac{\text{л}}{\text{мин} \cdot \text{см}^2}$ , находим

$$S_{\text{ср}} = \frac{Q}{q \cdot 600} = \frac{Q}{q} 1,67 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3$$

Из формулы (2.3)  $d_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{ср}}}{\pi h}$

Принимаем  $h = 1 \div 1,5 \text{ м} = h_{\text{ср}}$

Зная из формулы (2.5) объем силикагеля  $V$  и подставляя значение  $V$  в формулу (2.6), находим толщину слоя силикагеля  $\delta = d_2 - d_1$ . Подбором величин  $q$  и  $h$  добиваемся, чтобы толщина слоя силикагеля лежала в пределах  $\delta = 130 - 200 \text{ мм}$ . При  $\delta < 130 \text{ мм}$  и  $q = 1 \div 1,2 \text{ л/мин} \cdot \text{см}^2$  наблюдается значительный проскок влаги через слой силикагеля, при  $\delta > 200 \text{ мм}$  значительно возрастает сопротивление слоя силикагеля воздуху.

### **2.3.2 Распределение воздуха по судовым помещениям**

Для поддержания относительной влажности воздуха в герметизированных корабельных помещениях в пределах 25–35% необходимо, чтобы воздухоосушительная установка обеспечивала один обмен воздуха в обслуживаемых ею помещениях за 2,5–3 ч. У кораблей различных классов разные объемы внутренних помещений, однако нет необходимости для каждого класса кораблей иметь свою осушительную установку соответствующей производительности. Целесообразнее иметь один тип осушительной установки, а к ее производительности подбирать осушаемый объем путем одновременного осушения нескольких малых кораблей или разбивкой внутреннего объема корабля на ряд объемов, каждый из которых может быть обслужен одной установкой (для больших кораблей).

При разбивке всего осушаемого объема корабля на отдельные части учитываются особенности взаимного расположения корабельных помещений и возможность распределения и циркуляции воздуха во всем осушаемом объеме.

Воздухоосушительные установки могут размещаться как внутри осушаемого объема, так и вне его. В первом случае обычно используются различные жилые или какие-либо другие бытовые помещения корабля, например, кубрики, умывальники, камбуз и т.п. Во втором случае воздухоосушительные установки размещаются в специально сделанных выгородках или рубках на верхней палубе.

Второй способ размещения воздухоосушительных установок более удобен, так как он не требует периодического нарушения герметичности осушаемого объема для прохода личного состава, обслуживающего установки.

Для распределения сухого воздуха по помещениям корабля используются трубопроводы общекорабельных систем. Наиболее удобна для этой цели пожарная магистраль, так как она самая разветвленная магистраль на корабле. Наряду с пожарной системой можно использовать и другие магистрали, например, осушительную, паровую и др.

В те помещения, где нет отростков магистралей, удобных для подачи воздуха, сухой воздух подается при помощи временных гибких шлангов.

Осушать небольшие по объему помещения можно и без специальной подачи в них сухого воздуха путем диффузии через открытые двери, люки или горловины.

Основное требование при распределении сухого воздуха – это циркуляция воздуха при работе воздухоосушительной установки через все основные помещения осушаемого объема.

Для выполнения этого требования совершенно необязательно подавать сухой воздух в каждое помещение. Достаточно, что в каждом помещении будет ток воздуха, направляющегося к всасывающему патрубку воздухоосушительной установки. Чтобы обеспечить такой ток воздуха, в каждом отдельном случае необходимо определить, какие двери, люки и горловины держать открытыми и какие закрытыми.

Иногда для налаживания циркуляции воздуха в отдельных объемах, например, в палубных контейнерах, бывает необходима установка специальных трубопроводов или гибких шлангов, обеспечивающих ток воздуха из этих объемов к воздухоосушительной установке.

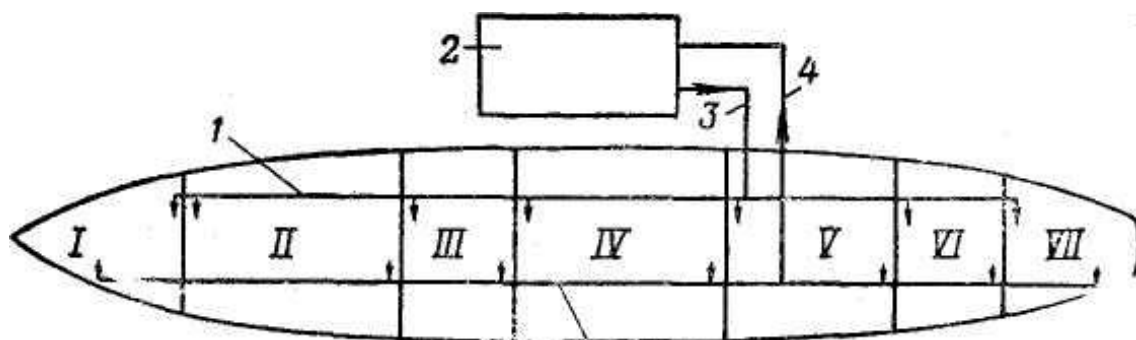
В машинно-котельных помещениях целесообразно сухой воздух от установки подавать в котел, откуда по паропроводу в турбину и далее через конденсатор в помещение. В этом случае будет достигнута надежная защита от коррозии внутренних поверхностей котлов, паропровода, турбин и конденсаторов. Вообще следует подавать сухой воздух во все трубопроводы и полости механизмов, где это окажется возможным.

Если не регулировать количество сухого воздуха, подаваемого в каждое помещение, то относительная влажность воздуха в помещениях будет различной и зависеть от пропускной способности трубопроводов, принятых для распределения сухого воздуха. Поэтому для поддержания более или менее одинаковой относительной влажности воздуха во всех осушаемых помещениях необходимо изменять подачу сухого воздуха, регулируя открытие клапанов на соответствующих трубопроводах. Подача сухого воздуха регулируется в зависимости от относительной влажности воздуха в отсеках.

В отсек с более низкой относительной влажностью подача сухого воздуха уменьшается, а в отсеке с более высокой влажностью увеличивается. Обычно бывает

достаточно отрегулировать подачу один раз при наладке работы воздухоосушительной установки.

Много проще, чем на надводных кораблях, решается вопрос распределения сухого воздуха на подводных лодках, где для этой цели используются трубопроводы магистралей общелодочной вентиляции, имеющие отростки в каждом отсеке. Принципиальная схема циркуляции воздуха на подводной лодке показана на рисунке 2.8. Регулировка подачи сухого воздуха по отсекам производится при помощи регистров на раструбах вентиляции и переборочных клинкетов.



1 – трубопроводы; 2 – воздухоосушительная установка; 3, 4 – шланги  
Рисунок 2.8 – Схема распределения сухого воздуха на подводной лодке

Воздухоосушительная установка 2 монтируется в специальной рубке, которая может быть размещена на надстройке подводной лодки или на пирсе в непосредственной близости от подводной лодки. В последнем случае для подачи воздуха на подводную лодку используются шланги 3 и 4.

После окончания монтажа воздухоосушительных установок и испытания корабельных помещений на герметичность воздухоосушительные установки запускаются в действие.

В течение первых трех – четырех недель установки работают непрерывно. В этот период, который называется периодом предварительной сушки, происходит десорбция влаги из окрашенных поверхностей и различных неметаллических материалов, а также испарение воды, находящейся в жидкой фазе.

Продолжительность периода предварительной сушки сильно зависит от тщательности удаления воды из трубопроводов, трюмов, полостей различных механизмов и других мест. При наличии воды в осушаемых помещениях этот период значительно увеличится, что приведет к длительному нахождению законсервированной материальной части в условиях повышенной влажности воздуха.

При достижении относительной влажности во всех осушаемых помещениях 30–40% время работы воздухоосушительных установок за сутки постепенно сокращается до такой величины, которая обеспечивает поддержание относительной влажности в помещениях в указанных пределах.

Время работы воздухоосушительной установки за сутки зависит от величины осушаемого объема, температуры воздуха в нем, качества герметизации и других факторов, не поддающихся точному учету. Для определения этого времени служит

диаграмма изменения относительной влажности воздуха в осушаемых помещениях, полученная с гигрографов.

Если, например, при работе воздухоосушительной установки в течение 10 ч в сутки относительная влажность воздуха в помещениях устанавливается ниже 30%, то это время сокращается, если же относительная влажность воздуха достигает 40%, то время работы воздухоосушительной установки за сутки увеличивается.

Практически изменение времени работы воздухоосушительной установки происходит в основном из-за изменения влагосодержания воздуха в помещениях и влагоемкости силикагеля в адсорберах при изменениях температуры осушаемого воздуха. Эти изменения связаны с сезонными климатическими явлениями и происходят сравнительно медленно, поэтому менять время работы установки за сутки приходится редко – несколько раз в течение года.

Время активной работы силикагеля адсорбера до переключения на второй адсорбер для данной установки так же изменяется в течение года и по тем же причинам.

Влагопоглощающая способность силикагеля в адсорбере считается исчерпанной при достижении относительной влажности воздуха на выходе из воздухоосушительной установки 20–25%. Эта цифра является условной и означает, что дальнейшее использование силикагеля в данном адсорбере без регенерации его становится малоэффективным.

В используемых в настоящее время на флотах воздухоосушительных установках силикагель в адсорберах работает до регенерации в течение 1,5–2 ч летом и 3–4 ч зимой.

Время регенерации силикагеля в адсорбере для данной установки определяется в конечном счете мощностью воздухоподогревателя. Это время для обеспечения возможности непрерывной работы воздухоосушительной установки должно быть меньше времени активной работы силикагеля в адсорбере до регенерации его. Обычно оно составляет 45–60 мин. Процесс регенерации силикагеля в адсорбере считается законченным, если при температуре воздуха после воздухоподогревателя 140–160° С температура воздуха после адсорбера достигнет 85–95° С.

Верным признаком конца регенерации силикагеля является достижение постоянства его веса в процессе регенерации, поэтому необходимо периодически проверять полноту регенерации путем отбора и взвешивания проб силикагеля.

### ***2.3.3 Особенности консервации материальной части при динамическом осушении воздуха***

При динамическом осушении воздуха в корабельных помещениях поддерживается относительная влажность воздуха 25–40%.

Для поддержания низкой относительной влажности воздуха необходимо обеспечить достаточно качественную герметизацию корабельных помещений (особенно в подводной части корпуса) и удалить воду из трюмов, полостей механизмов, трубопроводов и других мест.

Если герметизировать корпус и помещения корабля сравнительно легко, то удаление воды, находящейся обычно в указанных выше местах, требует значительных усилий.

Обычная продувка полостей механизмов и трубопроводов систем сжатым воздухом не дает нужного эффекта. После такой продувки в системах остается значительное количество воды. Приходится наиболее низко расположенные участки систем подвергать разборке, но и это мероприятие не всегда позволяет полностью удалить воду.

Наиболее эффективным способом удаления воды из полостей механизмов и трубопроводов является продувка их воздухом, подогретым до 100–120° С в специальном воздухоподогревателе или предварительно просушенным путем пропускания его через силикагель блока осушки.

В дальнейшем для поддержания во внутренних полостях механизмов и трубопроводов низкой относительной влажности воздуха последние сообщают с объемами осушаемых помещений – открывают лючки, пробки, клапаны и по возможности продувают сухим воздухом от воздухоосушительной установки в течение всего времени нахождения корабля в консервации.

Низкая относительная влажность воздуха, поддерживаемая в отсеках в течение всего времени нахождения корабля в консервации, позволяет отказаться от применения при консервации механизмов специальных консистентных консервирующих смазок. Так, если при консервации механизмов, расположенных в неосушаемых помещениях, основными консервирующими смазками являются пушечная смазка и различные смеси пушечной смазки с какими-либо маслами, то при консервации механизмов, находящихся в атмосфере пониженной влажности, оказывается возможным применять штатные масла или смазки, не требующие удаления их при расконсервации механизмов.

Исключительно благоприятные условия создает динамическое осушение воздуха внутри корабля для хранения законсервированного электрооборудования.

По сути дела, динамическое осушение воздуха позволяет вообще отказаться от применения консервирующих смазок при консервации электрооборудования и применять штатные смазки только в тех узлах, где они предусмотрены при эксплуатации. Большая часть электрооборудования в этом случае остается в состоянии, готовом к немедленному действию без каких-либо работ по его расконсервации.

Таким образом, применение динамического осушения воздуха при консервации корабля позволяет значительно сократить объем работ по консервации и расконсервации, а, следовательно, и сроки ввода законсервированного корабля в строй.

Рассмотрим порядок консервации кораблей при динамическом осушении воздуха. После окончания консервации материальной части и достижения в корабельных помещениях относительной влажности воздуха 40–45% все эти объемы сообщаются с атмосферой помещений путем вскрытия лючков, крышек, горловин, пробок и т.п.

К таким объемам относятся внутренние полости механизмов, электрическая аппаратура и арматура герметичного исполнения, внутренние цистерны подводных лодок, полости котлов, паропроводов, теплообменных аппаратов и пр.

В ряде случаев бывает целесообразным не просто сообщать какой-либо объем с атмосферой отсека, а пропускать через него сухой воздух от воздухоосушительной установки. Такой вариант, как уже указывалось, целесообразно применять при консервации машинно-котельных установок турбинных кораблей, где для подачи

воздуха от осушительных, установок можно использовать тракт паровой котел – паропровод – турбина – конденсатор.

По такому принципу можно осуществлять подачу сухого воздуха везде, где только это позволяет конструктивное оформление механизма или комплекса механизмов.

Выгодной особенностью использования динамического осушения воздуха является и то, что весьма просто решается вопрос доступа личного состава в герметизированные помещения для производства осмотров материальной части и связанных с этим работ.

Кратковременное нарушение герметичности помещений для прохода личного состава, а также пребывание личного состава внутри осушаемого помещения не оказывает существенного влияния на влажность воздуха в нем при работающей установке динамического осушения. Необходимо только следить за тем, чтобы дверь или люки для прохода личного состава открывались на возможно минимальное время и количество личного состава, допускаемого внутрь помещения, было ограничено.

#### ***2.3.4 Контроль за состоянием материальной части и за работой воздухоосушительных установок***

Основным условием надежной сохранности законсервированной материальной части при динамическом осушении воздуха в отсеках корабля является поддержание относительной влажности воздуха в заданы пределах в течение всего периода нахождения корабля в консервации.

При консервации кораблей способом динамического осушения воздуха в герметизированных помещениях для контроля за относительной влажностью и температурой воздуха можно пользоваться как простыми, так и дистанционными измерительными приборами. Обычно для измерения и регистрации относительной влажности воздуха используются гигрографы с недельным заводом часового механизма, а также гигрометры и дистанционные приборы ИТВ-1 и ДМС-53, которые, помимо относительной влажности воздуха, позволяют измерять и его температуру. Для регистрации и измерения температуры воздуха используются термографы с недельным заводом часового механизма.

Гигрографы и термографы непрерывно регистрируют изменение относительной влажности и температуры воздуха, что имеет большое значение для анализа и выбора режимов работы воздухоосушительных установок, но использование их связано с необходимостью прохода личного состава в герметизированные помещения для наблюдения и перезарядки приборов. Поэтому основными рабочими приборами являются дистанционные приборы ИТВ-1 и ДМС-53, а гигрографы и термографы – контрольными приборами.

Размещение приборов для измерения температуры и относительной влажности воздуха связано с особенностями распределения сухого воздуха по помещениям корабля и поэтому будет различным для надводных кораблей и подводных лодок.

На надводных кораблях весь осушаемый объем представляет собой единое целое, так как обратный ток воздуха к воздухоосушительной установке осуществляется

обычно через открытые двери и люки и соответствующие помещения. Это позволяет размещать приборы только в помещениях, где установлено много механизмов и приборов. Для получения до некоторой степени усредненных величин температуры и относительной влажности воздуха по всем осушаемым помещениям приборы необходимо размещать также в том помещении, из которого производится отбор воздуха непосредственно воздухоосушительной установкой.

Как на надводных кораблях, так и на подводных лодках приборы размещаются в средней части помещения (отсека). При необходимости произвести контрольные замеры в других точках обычно пользуются аспирационным психрометром, который служит также и для проверки показаний других приборов. Для прокладки кабелей от датчиков дистанционных приборов ИТВ-1 или ДМС-53 через водонепроницаемые переборки и корпус подводной лодки или надводного корабля используют специальные сальники, установленные на место какого-либо демонтированного трубопровода, или имеющиеся запасные сальники. Иногда бывает целесообразно для подключения датчика в каком-либо помещении использовать кабели, проходящие в это помещение, для чего последние отключаются от соответствующих механизмов или приборов.

Температуру и относительную влажность воздуха замеряют дистанционными приборами через каждые 4 ч, а также перед пуском и после остановки воздухоосушительных установок. В начальный период работы воздухоосушительных установок, при регулировке распределения сухого воздуха по помещениям, показания всех гигрографов и термографов снимаются один раз в день, в дальнейшем, при установившемся режиме работы установок, – один раз в неделю в специально назначенный для этого день. При снятии показаний гигрографов и термографов и при перезарядке помещения вскрываются для прохода, наблюдающего; там, где позволяют условия расположения помещений, следует использовать способ шлюзования.

Наряду с контролем за температурой и относительной влажностью воздуха в герметизированных помещениях корабля должен быть постоянный контроль и за состоянием законсервированной материальной части. Контроль за законсервированной материальной частью складывается из визуальных наблюдений за «свидетелями», за состоянием лакокрасочных покрытий, наружных поверхностей механизмов, трубопроводов, арматуры, приборов, замера сопротивления изоляции электрооборудования, вскрытия и осмотра отдельных механизмов или их узлов, отбора проб и анализа смазок, масел и топлива, из выборочной проверки измерительных приборов и т.п.

В процессе эксплуатации воздухоосушительных установок, особенно в начальный период, происходит усадка силикагеля в кассетах адсорберов, в результате чего воздух проходит поверх слоя силикагеля и не осушается. Чтобы избежать этого, необходимо в начальный период эксплуатации установки через 10 суток, а впоследствии один раз в два–три месяца проверять уровень силикагеля в адсорберах и при необходимости добавлять его.

Эффективность работы воздухоосушительных установок может резко снизиться и из-за нарушения герметичности ее узлов, поэтому периодически необходимо проверять установку на герметичность. В процессе работы установки пыль засоряет

воздушные фильтры, в результате чего снижается ее производительность. Необходимо следить за чистотой воздушных фильтров.

Решающее значение для эффективности работы установки имеет правильный выбор режимов ее работы, т. е. выбор времени работы установки за сутки, времени работы одного адсорбера до переключения на второй и выбор режима регенерации силикагеля.

## **2.4 Защитные атмосферы**

### **2.4.1 Получение защитных атмосфер**

*Защитными атмосферами* называют газовые среды, которые инертны по отношению к защищаемым материалам. В среде защитной атмосферы защищаемые материалы в течение длительного времени не изменяют своих свойств.

При консервации в качестве защитной атмосферы чаще всего используют сухой чистый азот. В среде сухого азота металлы, а также и неметаллические материалы не подвергаются коррозии и разрушению. Наличие в атмосфере азота влаги более – 35% по точке росы и кислорода более 0,05% приводит к потере им своих защитных свойств.

В техническом азоте обычно содержится от 1 до 3% кислорода. Чтобы такой азот можно было применять в качестве защитной атмосферы, необходимо очистить его от кислорода, для этого пользуются способом сжигания водорода в атмосфере технического азота. Кислород, содержащийся в техническом азоте, в присутствии катализатора вступает в реакцию с водородом, в результате чего образуется вода, которая впоследствии удаляется путем осушки азота.

В полученной этим методом защитной атмосфере примеси не должны превышать следующих пределов:  $H_2 = 3 \%$ ,  $O_2 = 0,05\%$ ,  $NH_3 = 0,0005\%$ , влажность по точке росы –  $35^\circ C$ .

### **2.4.2 Применение защитных атмосфер для консервации. Вакуумная установка**

При использовании защитных атмосфер для консервации основной задачей является получение в определенном объеме (корабле в целом, помещении, упаковке оборудования) требуемого состава защитной атмосферы и поддержание этого состава в течение всего периода нахождения объекта в консервации.

Совершенно очевидно, что для выполнения этого заполняемый объем должен быть герметизирован.

Заполнение герметизированного объема защитной атмосферой производится продуванием объема этой атмосферой до получения требуемого состава на выходе или вакуумированием объема и последующим заполнением его защитной атмосферой.

В первом случае герметизированный объем подключается к баллонам, заполненным защитной атмосферой, или к магистрали, идущей от источника защитной атмосферы. При использовании защитной атмосферы из баллонов продувание производится путем периодического заполнения объема до избыточного давления 0,1–0,5 атм и последующего выпуска атмосферы из объема.



При использовании защитной атмосферы из магистрали газозащитной станции герметизированный объем подключается на непрерывное продувание объема защитной атмосферой.

Процесс замены воздушной среды на среду защитной атмосферы продолжается до достижения равенства параметров защитной атмосферы на входе и выходе.

При втором способе замены воздушной среды на среду защитной атмосферы воздух из объема удаляется с помощью вакуумных насосов и затем объем заполняется защитной атмосферой.

Наибольшее применение в практике получил второй способ, так как он требует меньше времени, а также меньше защитной атмосферы.

Для предотвращения натекания воздуха герметизированный объем наполняется защитной атмосферой до некоторого избыточного давления (обычно 0,3–0,5 атм). При снижении избыточного давления до 0,1 атм производят пополнение защитного газа до первоначального давления.

Таким образом, эффективность применения защитной атмосферы при консервации техники в значительной мере зависит от степени герметизации того объема, в котором она размещена. Только при хорошей герметизации можно добиться достаточно глубокого вакуума и, следовательно, достаточно полного удаления кислорода и влаги из герметизируемого объема.

Следует отметить, что создать идеально герметичную вакуумную систему практически невозможно. Критерием герметичности вакуумной системы является так называемая **величина натекания атмосферного воздуха** в вакуумируемый объем, или, другими словами, скорость увеличения давления в вакуумированном объеме.

Величина натекания может быть подсчитана по формуле

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{t} V, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}} \quad (2.8)$$

где  $p_2$  – начальное остаточное давление в вакуумированном объеме;

$p_1$  – давление в вакуумированном объеме через время  $t$ ;

$V$  – вакуумированный объем;

$t$  – время истечения, с.

Очевидно, допустимой величиной натекания будет такое натекание, при котором в данной вакуумной системе с помощью применяемых в данном случае средств возможно поддержание заданного остаточного давления, т.е. если

$$Q_0 p \geq Q \quad (2.9)$$

где  $Q_0$  – быстрота откачки, т.е. объем газа, поступившего в ед. времени вакуумируемого объема в вакуумпровод;

$p$  – давление в вакуумируемом объеме.

С другой стороны

$$Q_0 = \frac{Q_n \cdot Q_{пр}}{Q_n + Q_{пр}} \quad (2.10)$$

где  $Q_n$  – производительность насоса, т.е. объем газа, поступившего из вакуумпровода в вакуумный насос;

$Q_{пр}$  – пропускная способность вакуумпровода, м<sup>3</sup>/с.

Следовательно, неравенство (10.9) можно представить в виде

$$Q \leq \frac{Q_n \cdot Q_{пр}}{Q_n + Q_{пр}} p, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}} \quad (2.11)$$

Из неравенства (2.11) следует, что, чем больше  $Q_n$  и  $Q_{пр}$ , тем большую величину натекания можно допустить.

Наиболее эффективным средством удаления влаги из герметичного объема является понижение давления внутри этого объема. Это объясняется тем, что с понижением внешнего давления температура кипения воды резко понижается. Так, если при давлении 760 мм рт. ст. температура кипения воды 100°C, то при давлении 100 мм рт. ст. только 51°C, при давлении 10 мм рт. ст. 11°C, а при давлении 4,58 мм рт. ст. около 0°C (точнее 0,98 °C).

Точка, характеризующаяся давлением 4,579 мм рт. ст. и температурой 0,98°C, носит название **тройной точки** и является границей трех агрегатных состояний: пар, вода, лед.

При давлениях ниже 4,58 мм рт. ст. равновесное фазовое превращение воды представляет собой превращение льда непосредственно в пар без перехода в жидкое состояние.

Такое изменение агрегатного состояния вещества называется **возгонкой** или **сублимацией**.

**Метод сушки сублимацией** состоит в том, что испарение влаги из сушимого материала производится из твердого состояния: материал все время находится при температуре ниже тройной точки, при которой происходит замерзание содержащейся в нем влаги.

Если такая сушка происходит при давлении более высоком, чем давление в тройной точке, то интенсивность испарения будет небольшой, так как сколько-нибудь значительный подвод тепла к материалу вызовет плавление льда.

В случае сушки при давлении окружающей среды ниже давления в тройной точке (4,58 мм рт. ст.) можно подвести значительное количество тепла к материалу и ускорить процесс сушки.

Следовательно, для быстрого удаления влаги из пор и внутренних полостей механизмов и систем необходимо величину предельного вакуума принимать ниже давления 4,58 мм рт. ст.

Быстрота действия вакуумного насоса определяется по формуле:

$$Q_n = 2,3 \cdot 10^{-3} \frac{V}{t} \lg \frac{p'}{p''} \quad (2.12)$$

Где  $p'$  – начальное давление в вакуумируемом объеме  $V$ ;  
 $p''$  – давление в конце вакуумирования;  
 $t$  – время вакуумирования.

Если же вакуумируемые объемы имеют большую величину натекания  $Q$ , то производительность  $Q_n$  должна быть не менее

$$Q_n = \frac{Q}{p_{min}} \quad (2.13)$$

где  $p_{min}$  – наименьшее давление в вакуумируемом объеме.  
 Пропускная способность вакуумпровода определяется по формуле:

$$Q_{пр} = 24 \cdot 10^{-6} \frac{D^4}{l} p \quad (2.14)$$

где  $D$  – диаметр трубопровода, м;  
 $l$  – длина трубопровода, м;  
 $p$  – среднее давление в трубопроводе, Па.

Эффективная быстрота откачки определяется по формуле:

$$\frac{1}{Q_{\varepsilon}} = \frac{1}{Q_n} + \frac{1}{Q_{пр}} \quad (2.15)$$

или

$$Q_{\varepsilon} = \frac{Q_n}{1 + \frac{Q_n}{Q_{пр}}} \quad (2.16)$$

Из формулы (2.16) видно, что эффективная быстрота откачки объема сильно зависит от пропускной способности трубопровода.

Уже при  $Q_{пр} = Q_n$  быстрота действия насоса используется только наполовину. Поэтому при проектировании вакуумных установок следует стремиться к тому, чтобы пропускная способность соединительных трубопроводов была достаточно велика; трубопровод должен быть по возможности коротким и с большим проходным сечением.

### **Вакуумирование объема.**

Вакуумирование объема и заполнение его защитным газом обычно производятся в следующей последовательности:

1. пускаются вакуумные насосы при закрытых клапанах на всасывании и определяется остаточное давление, создаваемое насосами;
2. открываются клапаны на всасывании (при закрытых клапанах на вакуумируемый объем), насосы работают до получения минимального давления в вакуумпроводе;

3. останавливаются насосы и определяется натекание атмосферного воздуха в вакуумпровод, которое должно быть не более 1 % допустимого натекания в вакуумируемый объем;
4. вакуумируется объем до наименьшего остаточного давления; остаточное давление считается наименьшим, если оно не уменьшается в течение 3 ч работы насоса;
5. останавливается насос и определяется по формуле (10.8) величина натекания атмосферного воздуха в вакуумную систему;
6. продувается техническим азотом объем в течение 20–30 мин и вновь вакуумируется до наименьшего остаточного давления;
7. заполняется объем защитным газом до давления 0,1–0,3 атм, на вакуумпроводе закрываются клапаны;
8. через 2–3 суток производится повторное вакуумирование и заполнение объема защитным газом. Процесс вакуумирования объема и заполнения его защитным газом повторяется до получения в нем требуемых параметров защитного газа.

Особенности консервации механизмов при использовании защитного газа в основном те же, что и при использовании рассмотренного ранее динамического осушения воздуха.

#### ***2.4.3 Контроль за состоянием оборудования, законсервированного в среде защитных атмосфер***

Параметры защитной атмосферы в герметизированном объеме с течением времени могут изменяться.

Изменяться могут избыточное давление защитной атмосферы, а также содержание в ней кислорода и влаги.

Если уменьшение избыточного давления защитной атмосферы связано в основном с недостаточной герметичностью объема, то увеличение процентного содержания кислорода и влаги может быть вызвано выделением их из различных неметаллических материалов. В начальный период, после наполнения объема защитной атмосферой, кислород и влага могут выделяться также из различных полостей законсервированных механизмов.

Основным условием надежной сохранности законсервированного оборудования во время нахождения его в консервации является сохранение требуемого состава защитной атмосферы в герметизированном объеме, поэтому контроль за состоянием оборудования сводится в основном к контролю за составом защитной атмосферы.

Постоянство состава защитной атмосферы при отсутствии выделения кислорода и влаги внутри герметизированного объема зависит главным образом от поддержания избыточного давления в объеме.

При достаточном избыточном давлении даже некоторая негерметичность объема не приведет к натеканию в него кислорода и влаги извне.

Величина избыточного давления защитной атмосферы поддерживается обычно в пределах 0,1–0,3 атм. При снижении избыточного давления до 0,1 атм объем пополняется защитной атмосферой из баллонов, в которых хранится ее запас.

Если такое пополнение потребуется производить чаще трех раз в месяц, то необходимо проверить герметичность объема и устранить неплотности.

Величина избыточного давления защитной атмосферы контролируется по манометрам, установленным непосредственно на стенке контейнера или корпуса отсека.

Контроль за состоянием защитной атмосферы производится путем отбора проб и определения процентного содержания влаги, кислорода и водорода.

Помимо постоянного контроля за составом и избыточным давлением защитной атмосферы, периодически должны проводиться и плановые осмотры законсервированного оборудования.

Непосредственный контроль за состоянием законсервированного оборудования весьма затруднителен из-за сложности доступа личного состава внутрь объема, заполненного защитной атмосферой.

Практически для непосредственного осмотра материальной части необходима замена защитной атмосферы воздухом, что крайне нежелательно из-за сложности последующего вакуумирования и повторного заполнения объема защитной атмосферой, а также из-за нарушения режима хранения законсервированного оборудования.

Поэтому при консервации крупных объектов, например, подводных лодок, целесообразно в качестве защитной атмосферы использовать сухой очищенный воздух, получаемый от специального блока осушки.

## **2.5 Ингибиторы коррозии**

### ***2.5.1 Классификация ингибиторов коррозии***

**Ингибиторами** (от латинского слова *inhibire* – тормозить), или замедлителями, коррозии, как уже указывалось, называются вещества, которые тормозят, а в ряде случаев практически полностью останавливают коррозионный процесс на металле.

Торможение коррозионного процесса происходит в зависимости от вида ингибитора за счет взаимодействия ингибитора со средой, в которой находится консервируемое оборудование, или за счет взаимодействия ингибитора с поверхностью металла.

По характеру действия и свойствам все ингибиторы коррозии можно разделить на нелетучие, или контактные ингибиторы и летучие, или парофазные ингибиторы.

**Нелетучими, или контактными, ингибиторами коррозии** называются ингибиторы, пары которых имеют очень малую летучесть, и поэтому они проявляют защитный эффект лишь при непосредственном контакте с поверхностью металла. Эти ингибиторы вводятся в растворители и их растворы наносятся на защищаемые металлические поверхности.

*Контактные ингибиторы коррозии подразделяются на 2 подгруппы:*

1. неорганические контактные ингибиторы;
2. органические контактные ингибиторы.

*Неорганическими контактными ингибиторами* являются нитриты, хроматы и др., т.е. соли азотистой, хромовой, двуххромовой, а также других кислот. Такие ингибиторы

часто называют пассиваторами, так как они создают на поверхности металла нерастворимую пассивную пленку, защищающую металл от разрушения.

К числу органических контактных ингибиторов относятся бензоаты и органические соединения угольной, фосфорной и других кислот.

*Летучими ингибиторами атмосферной коррозии* называются ингибиторы, способные испаряться при обычной температуре. Эти ингибиторы защищают металлы при непосредственном контакте с ними и металлы, находящиеся в среде паров ингибиторов. Летучие ингибиторы разделяются также на две подгруппы: неорганические летучие ингибиторы и органические, летучие ингибиторы.

К летучим ингибиторам атмосферной коррозии относятся нитриты замещенных аммониевых оснований, сложные эфиры карбоновых кислот, карбонаты замещенных аммониевых оснований, некоторые смеси неорганических веществ и их смеси с органическими веществами.

Летучесть паров указанных ингибиторов является одной из важнейших характеристик, определяющих длительность и надежность их защитного действия. Пары ингибитора насыщают объем, в котором находится законсервированное оборудование, и защищают поверхность металла от коррозии. Благодаря этому летучие ингибиторы эффективно действуют не только в месте соприкосновения с металлом, но и на значительном (в некоторых случаях до 70 см) расстоянии от него.

Применение ингибиторов коррозии для целей консервации имеет следующие преимущества перед применением смазок:

- достигается более длительная  $v$  металлов от коррозии;
- достигается большая экономия средств;
- консервация и особенно расконсервация производятся в значительно более короткие сроки и с меньшей трудоемкостью работ.

Наряду с этими положительными сторонами применение ингибиторов имеет и ряд отрицательных сторон. В настоящее время еще нет универсальных ингибиторов, которые защищали бы черные и цветные металлы. Более того, ингибитор, защищающий одни металлы, может ускорить коррозию других. Летучие ингибиторы атмосферной коррозии дают большой эффект только в определенном диапазоне температур, когда возможно насыщение парами летучего ингибитора загерметизированного объема. При снижении температуры летучесть паров ингибитора снижается и защитные свойства ингибитора в паровой фазе тоже снижаются. В этом случае летучий ингибитор дает защитный эффект только в местах непосредственного контакта с металлической поверхностью.

### ***2.5.2 Нелетучие ил контактные ингибиторы коррозии***

***Неорганические контактные ингибиторы*** находят широкое применение для предотвращения коррозии металлов и воде, и водных растворах различных солей. Как указано выше, в качестве таких ингибиторов применяются соли калия и натрия: нитрит натрия, хроматы и бихроматы калия и натрия и др. Все эти соли являются пассиваторами.

Особенность действия пассиваторов состоит в том, что они при определенной концентрации по истечении некоторого времени, необходимого для образования защитной, пленки, практически полностью прекращают коррозионный, процесс. Чем плотнее пленка и меньше в ней пар, тем совершеннее выполняет она свою защитную роль.

При малых концентрациях пассиваторы не образуют сплошной защитной пленки на поверхности металла. В этом случае коррозионный процесс может происходить на небольших участках поверхности, что приводит к опасному местному сосредоточению коррозии, превращению ее в язвенную. Поэтому неорганические контактные ингибиторы коррозии считаются опасными замедлителями.

*Минимальная концентрация ингибитора*, ниже которой неорганический ингибитор не дает защитного эффекта, а, наоборот, ускоряет коррозионный процесс, называется **порогом опасных концентраций**. Каждый ингибитор имеет свой порог опасных концентраций.

Нитриты являются одной из наиболее практически освоенных групп контактных ингибиторов коррозии.

Нитрит натрия  $\text{NaNO}_2$  является эффективным замедлителем. Он представляет собой белое кристаллическое вещество с бледно-желтым оттенком, хорошо растворимое в воде, удельный вес его  $2,1 \text{ г/см}^3$ .

Торможение коррозии черных металлов в присутствии нитрит натрия объясняется тем, что ион  $\text{NO}_2$  окисляет продукты коррозии в окисные соединения, которые осаждаются на поверхности металла и создают защитную пленку.

Нитрит натрия применяется для консервации стальных изделий. Кроме того, он обладает хорошим защитным действием по отношению к никелю и хрому, а также покрытием из этих металлов по стали, нанесенным без подслоя.

Наиболее распространенный способ нитритом натрия – это погружение изделий в ванну с раствором, который систематически контролируется и корректируется. После стекания раствора изделие высушивают при комнатной температуре и заворачивают в парафинированную бумагу и затем в оберточную. Раствор нитрита натрия на изделия можно наносить кистью; в этом случае необходимо следить, чтобы ингибитор попал во все отверстия, щели, в резьбу и т.д.

При консервации изделий применяется и комбинированный способ, когда изделия последовательно покрываются раствором ингибитора, а затем смазкой.

Ввиду высокой гигроскопичности нитрита натрия при хранении изделий в среде с высокой относительной влажностью воздуха кристаллы нитрита натрия могут раствориться и отдельные места изделий оголятся. Поэтому в последнее время для консервации изделий находят широкое применение водные растворы нитрита натрия повышенной вязкости. В качестве загустителя используется крахмал или его заменители. С целью сохранения пленки раствора на поверхности металла в коллоидном состоянии для предотвращения испарения из раствора влаги в него вводится глицерин.

Для нейтрализации кислотности, вызванной присутствием крахмала и глицерина, в раствор добавляется кальцинированная сода. Приготовление таких растворов в принципе не отличается от приготовления обычных нитритных растворов.

Хроматы давно применяются в качестве ингибиторов коррозии черных и цветных металлов в пресной и морской воде.

В эту группу ингибиторов входят следующие соли калия и натрия:

- калий двуххромоокислый  $K_2CrO_2$ ;
- бихромат калия  $K_2Cr_2O_2$ ;
- натрия хромоокислый  $NaCrO_4$ ;
- бихромат натрия  $Na_2Cr_2O_7$ .

Все эти ингибиторы являются активными окислителями). Они представляют собой кристаллические вещества, устойчивые на воздухе, хорошо растворимые в воде и нерастворимые или слабо растворимые в спирте.

Из хроматов наиболее широкое распространение как ингибитор коррозии металлов получил бихромат калия.

Скорость коррозии стали, погруженной в растворы бихромата калия, резко снижается. Достаточно добавить 1 г/л бихромата калия, чтобы сталь совершенно не корродировала в пресной воде.

Если же стальное изделие частично находится в растворе бихромата калия, то наблюдается усиление коррозии по ватерлинии и даже значительным увеличением концентрации бихромата калия в растворе удастся не полностью защитить металл от разрушения, а лишь значительно замедлить коррозионный процесс.

Как и нитриты, хроматы и бихроматы являются опасными ингибиторами и при малых концентрациях вызывают ускорение коррозионных процессов. Установлено, что при концентрации  $NaCl$  в растворе 1 г/л бихромат калия оказывает защитное действие при концентрации в растворе не менее 3,2 г/л.

Органические контактные ингибиторы находят широкое применение для защиты черных и цветных металлов. Органические ингибиторы имеют то преимущество перед неорганическими, что при недостаточных концентрациях в растворе они не вызывают ускорения коррозионного процесса, т.е. не относятся к опасным ингибиторам.

Бензонат натрия, или бензойнокислый натрий,  $NaC_7H_5O_2$  находит широкое применение для защиты от коррозии стали не только в водных растворах, но и при введении его в упаковочные материалы, смазки и краски.

Бензонат натрия, будучи хорошо растворимым в воде, вводится в краски с органическим растворителем, в котором имеются примеси воды. Затем вода испаряется, а частицы бензоната натрия остаются в краске и увеличивают ее защитные свойства. Для защиты черных металлов от коррозии минимальная концентрация бензоната натрия в пресной воде 1,5%.

### 2.5.3 Летучие ингибиторы коррозии

Летучие ингибиторы коррозии должны обладать следующими свойствами:

1. надежно защищать металлы как в газовой фазе, так и в растворе;
2. иметь высокую химическую стойкость;
3. пары ингибитора должны иметь достаточную летучесть.

Этим требованиям удовлетворяют следующие типы химических соединений: нитриты замещенных аммониевых оснований, сложные эфиры карбоновых кислот,



карбонаты замещенных аммониевых оснований, некоторые смеси неорганических веществ и их смеси с органическими веществами.

При хранении деталей в ингибированной бумаге, пропитанной 15% раствором летучего фосфатного ингибитора, защита обеспечивается на срок до трех лет. При использовании более концентрированных растворов защита может быть еще более длительной.

Допускается хранение деталей даже при  $\phi = 100\%$ , но температуре не выше  $+40^\circ\text{C}$ . Повышение температуры сокращает срок консервации.

Органические летучие ингибиторы находят широкое применение для консервации техники.

Нитриты замещенных аммониевых оснований являются хорошими летучими ингибиторами коррозии черных металлов.

Наиболее полно изучены свойства **нитрита дициклогекаиламмония (НДА)**  $(C_6Hn)_2NH \cdot HNO_2$ . По своей химической природе это соединение является солью дициклогексиламина и азотистой кислоты.

Объем около  $500 \text{ м}^3$  воздуха насыщается  $1 \text{ см}^3$  НДА при комнатной температуре.

По внешнему виду это белое кристаллическое вещество, разлагающееся при нагревании до  $100^\circ\text{C}$ . Время разложения ингибитора НДА зависит от температуры и способа его применения. Для ингибитора, нанесенного на бумагу, время разложения при  $23^\circ\text{C}$  равно 10 годам, при  $75^\circ\text{C}$  – 3,5 месяца. Ингибитор в кристаллическом состоянии полностью разлагается при  $41^\circ\text{C}$  в течение 20 лет.

Механизм защитного действия летучих ингибиторов коррозии часто связан с поглощением паров ингибитора пленкой шипи, сконденсировавшейся на поверхности металла. В пленке влаги происходит гидролиз молекул летучего ингибитора. Образовавшиеся продукты взаимодействуют с металлической поверхностью и защищают ее от коррозии. Например, нитриты аминов оказывают двойное защитное действие: нитрогруппа  $NO_2$ , обладающая сильными окислительными свойствами, образует на поверхности металла пассивную пленку окисного характера, амины сорбируются на активных участках поверхности металла, что затрудняет доступ агрессивных веществ к металлической поверхности.

Карбонаты аминов относятся к летучим ингибиторам, защищающим черные металлы от коррозии. К этому классу химических соединений относятся продукты взаимодействия аминов с углекислотой или углекислым газом.

Наиболее полно изучены свойства **карбоната дициклогекаиламмония (КДА)**, находящего широкое применение для защиты от атмосферной коррозии изделий из стали и чугуна.

КДА представляет собой белое кристаллическое вещество со слабым аммиачным запахом, хорошо растворимое в воде и этиловом спирте. Эти жидкости можно успешно применять для получения растворов КДА, которыми пропитывается упаковочная бумага.

Торможение процесса коррозии уже заржавевших поверхностей имеет большое практическое значение. Это важно для защиты от коррозии, например, трубопроводов и паровых котлов, уже бывших в эксплуатации, а потом законсервированных.

КДА предохраняет от коррозии сталь, чугун, цинк, алюминий, хромированную и луженую сталь, а при определенных условиях – медь и латунь.

**Уротропиновый летучий ингибитор** (30% водный раствор) представляет собой смесь 15% уротропина, 15% нитрита натрия и 70% воды (в весовых частях). Он обеспечивает надежную защиту от коррозии деталей из черных металлов в любых климатических условиях на срок более пяти лет. Этот ингибитор применяется для пропитки бумаги, картона, дерева ящиков, в которых хранится оборудование.

В отличие от других известных летучих ингибиторов, он не изменяет свое защитное действие до температуры + 90°C. Уротропиновый летучий ингибитор уничтожает плесень и насекомых.

#### **2.5.4 Способы применения ингибиторов коррозии**

**Способ применения ингибиторов коррозии** выбирают в зависимости от свойств ингибитора, от конфигурации и размеров механизмов, оборудования или деталей, подвергающихся консервации, от металлов, из которых они изготовлены. Приведем основные способы применения ингибиторов коррозии.

**Первый способ.** Летучий ингибитор в виде порошка насыпают в мешочки, которые помещают в упаковочный ящик или в пакет с изделиями. Можно насыпать порошок непосредственно на дно ящика. Во внутренние поверхности двигателей (цилиндры, картер, коллекторы, полости охлаждения и т.п.) помещаются мешочки с ингибитором, которые при расконсервации удаляются.

**Второй способ.** Летучий ингибитор растворяют в растворителе и этим раствором из пульверизатора равномерно опрыскивают металлическую поверхность. Мелкие детали и инструмент могут окунаться в раствор ингибитора. После испарения растворителя ингибитор остается на поверхности металла и предохраняет ее от коррозии. Раствор ингибитора можно набрызгивать на дно и стенки контейнера, в котором оборудование хранится и перевозится.

**Третий способ.** Раствором летучего ингибитора пропитывают бумагу, которой обвёртывают консервируемое изделие. Этот способ наиболее распространен. Таким способом консервируют валы, баллеры рулей, гребные винты, тросы и т.п.

Многолетняя проверка третьего способа применения летучих ингибиторов коррозии дала положительные результаты. Например, детали, упакованные в бумагу, которая была пропитана нитритом дициклогексиламмония, при защите только от прямого соприкосновения с дождевой водой не подвергались коррозии в течение нескольких лет. Такая защита более эффективна, чем применение противокоррозионных смазок.

Срок защитного действия ингибитора определяется временем, в течение которого в загерметизированном объеме имеется необходимая упругость паров ингибитора, при которой ингибитор оказывает защитный эффект.

При снижении упругости паров ингибитора в загерметизированном объеме ниже определенного предела (вследствие плохой герметичности упаковки) его защитные свойства резко снижаются.

Как уже указывалось, чем выше температура, тем выше упругость паров ингибитора. Например, при комнатной температуре НДА и КДА защищают металлическую поверхность на расстоянии до 30 см. При понижении температуры вследствие уменьшения летучести ингибитора это (расстояние уменьшается, а при отрицательных температурах защитный эффект в паровой фазе почти равен нулю. В этом случае более удобен способ непосредственного набрызгивания раствора ингибитора на защищаемые поверхности металла.

Герметизация осуществляется только после полного испарения растворителя и появления осадка ингибитора на обрызганных поверхностях.

**Четвертый способ.** Для предотвращения коррозии поверхностей деталей топливной системы и системы смазки двигателей, а также для улучшения защитных свойств смазок мелкодисперсный ингибитор вводится в масла и антикоррозионные смазки.

Для консервации внутренних поверхностей деталей, подвергающихся трению при работе (коленчатые валы, цилиндры двигателей и т.п.), а также для консервации системы смазки двигателей ингибитор размельчается в вибрационной мельнице типа М-10 до величины зерен 1–5 мкм. Затем ингибитор вводится в смазку или масло в количестве около 3% и смесь прокачивается через масляную систему двигателя при проворачивании коленчатого вала вручную. В отдельных случаях возможна кратковременная работа двигателя (в течение 5–10 мин) на ингибированном масле, при этом хорошо смазываются все внутренние рабочие поверхности двигателя.

Обязательным условием успешного применения ингибиторов является тщательный учет особенностей объектов консервации, их назначение, виды металлов, из которых изготовлены отдельные детали, подлежащие консервации, сочетание металлов в той или иной конструкции, наличие неметаллических материалов и т.п.

Например, решая вопрос о применении ингибиторов для защиты от коррозии электрооборудования, необходимо считаться с возможностью химического воздействия того или иного ингибитора на неметаллические материалы (электроизоляционные материалы, пропиточные лаки и краски, пластмассы, древесину и т.д.).

При защите внутренних поверхностей трубопроводов, полостей механизмов необходимо учитывать радиус защитного действия летучих ингибиторов.

## **2.6 Электрохимическая защита корпусов кораблей**

### **2.6.1 Сущность электрохимической защиты**

В состав каждого металла входит большое количество примесей других металлов, и, если поверхность такого металла соприкасается с электролитом, происходит образование микрогальванических элементов. При этом один из металлов, образующих микрогальванический элемент, выполняет роль анода и разрушается, а второй выполняет роль катода и разрушению не подвергается. На месте разрушившегося анода на поверхности металла образуется коррозионная язва, приходят в соприкосновение с электролитом более глубокие слои металла и начинают действовать новые микрогальванические элементы. Коррозионный процесс может протекать не только за

счет микроэлементов, но и вследствие возникновения таких гальванических пар, электроды которых имеют вполне ощутимые размеры.

Примером может служить гальванический элемент, образованный стальной обшивкой корпуса корабля и гребными винтами, изготовленными из латуни. Подобного рода гальванические элементы с электродами заметных размеров носят название макроэлементов.

Причиной возникновения электрического тока в микро-и макроэлементах является разность потенциалов между разнородными металлами, погруженными в электролит.

Под электродным потенциалом металла понимают смещение потенциала металла при переходе его из вакуума в электролит, которое определяется процессом переноса зарядов из металла в раствор или обратно.

Для каждого металла существует некоторый минимальный потенциал, при котором скорость его коррозии в данной среде становится практически равной нулю; этот его потенциал называют **минимальным защитным потенциалом** данного металла в данной среде.

Для придания металлу минимального защитного потенциала на его поверхности должна быть создана определенная плотность электрического тока. Эту плотность тока, вызывающую сдвиг потенциала металла до защитного, называют **защитной плотностью тока**. Источником защитного тока может быть гальваническая пара, образованная защищаемым металлом (катодом) и другим каким-либо металлом, помещаемым в электролит и имеющим более отрицательный потенциал (анод), или посторонний источник постоянного тока. В последнем случае в качестве анода может быть использован любой токопроводящий материал (сталь, чугун, графит и др.).

В первом случае анод называют **протектором**, а защиту металлов от коррозии в электролитах с помощью протекторов – **протекторной защитой**.

Во втором случае положительный полюс источника тока подключается к аноду, а отрицательный – к катоду. Такой способ защиты металлов от коррозии в электролитах называют **катодной защитой**.

Контроль за действием протекторной и катодной защиты может осуществляться по величине защитной плотности тока на катоде и по величине потенциала катода.

В случае протекторной или катодной защиты металла, имеющего на своей поверхности лакокрасочное покрытие, контроль за действием защиты осуществляется только по величине потенциала катода. Контролировать действие защиты по плотности защитного тока в этом случае нельзя, так как величина активной (пропускающей электрический ток) поверхности катода неизвестна.

### 2.6.2 Протекторная защита

Если к какому-либо металлу, допустим к железу, в растворе электролита электрически присоединить другой металл, например, магний, обладающий более отрицательным электродным потенциалом по сравнению с железом, то получится своего рода замкнутый гальванический элемент. Анодом этого элемента будет являться магний, а катодом – железо. При работе гальванического элемента положительные ионы

магния будут непрерывно переходить в раствор, а соответствующие им электроны будут по проводнику переходить на железо и ассимилироваться там ионами раствора.

В результате протектор будет непрерывно растворяться, а железо, имеющее с ним электрический контакт, будет в большем или меньшей степени защищаться от коррозии. Благодаря переходу электронов на катод потенциал его смещается в сторону отрицательных значений, т. е. происходит катодная поляризация защищаемого металла. При достаточной величине поляризации коррозия защищаемого металла практически прекращается.

Величина поляризации защищаемого металла зависит от величины начального потенциала протектора и величины его анодной поляризации. Для практически полного прекращения коррозии потенциал защищаемого металла должен быть более электроотрицателен, чем потенциалы анодов и катодов имеющих на нем макро- и микрогальванических пар. Поэтому протекторы должны быть значительно более электроотрицательны, чем защищаемый металл, и подвергаться малой анодной поляризации.

Теоретически и практически доказано, что защитный потенциал стали в морской воде составляет – 850 мВ по медносульфатному электроду сравнения.

Процесс защиты металлов от коррозии с помощью протекторов состоит из трех основных процессов:

- анодного процесса – возникновения, некомпенсированных электронов на аноде и гидратированных ионов металла в электролите;
- процесса перехода электронов по проводнику от анода к катоду и соответствующего перемещения катионов и анионов в растворе;
- катодного процесса – ассимиляции электронов какими-либо ионами или молекулами раствора (деполяризаторами), способными к восстановлению на катодных участках.

В последние годы в судостроении начали использовать высокоэффективные протекторы из магниевых сплавов, которые позволили обеспечить в сочетании с лакокрасочным покрытием надежную защиту от коррозии всей подводной части корпуса корабля.

С помощью магниевых протекторов защищают от коррозии также корпуса законсервированных кораблей. Эффективность действия протекторной защиты на законсервированных кораблях определяется электропроводностью морской воды в месте их стоянки. При низкой электропроводности морской воды протекторная защита малоэффективна. Это объясняется малым защитным током ввиду большого сопротивления воды и, следовательно, незначительной поляризацией самого корпуса. Чтобы достигнуть необходимой величины поляризации корпуса корабля в воде с малой электропроводностью, необходимо уменьшить сопротивление полба воды путем уменьшения расстояния между протекторами и корпусом, что повлечет за собой уменьшение радиуса действия протекторов и вызовет необходимость увеличения их количества.

Большое количество протекторов на корабле требует большого количества приспособлений для их крепления, что усложняет их обслуживание. Поэтому на законсервированных кораблях, стоящих в воде с малой электропроводностью,

используется не протекторная, а катодная защита, позволяющая при небольшом количестве анодов обеспечить достаточную поляризацию корпуса корабля путем увеличения напряжения и защитного тока между корпусом и анодами.

К лакокрасочным покрытиям, применяемым в сочетании с протекторной защитой, предъявляются особые требования: покрытия должны обладать достаточной щелочеустойчивостью и высокими адгезионными свойствами. Используемое в настоящее время на законсервированных кораблях шестислойное покрытие подводной части корпуса этиоловой краской № 40 вполне удовлетворяет указанным требованиям, если в период действия защиты потенциал корпуса корабля не превышает по абсолютной величине 900 мВ по медносульфатному электроду сравнения.

По мере растворения протекторов уменьшается их активная поверхность. Это может повлечь за собой уменьшение защитного тока и смещение потенциала корпуса корабля в положительную сторону. Если потенциал корпуса при этом станет по абсолютной величине меньше – 850 мВ по медносульфатному электроду сравнения, то протекторы заменяют новыми.

Как правило, протекторы, изготовленные из магниевых сплавов, надежно обеспечивают защиту подводной части корпуса корабля в сочетании с лакокрасочным покрытием до полного своего износа.

На корабле протекторы подвешиваются на капроновых шнурах, закрепленных на специальных стрелах, и соединены с корпусом корабля посредством электрокабелей. Форма протектора цилиндрическая, что обеспечивает наиболее равномерное его растворение. По оси протектора проходит стальной стержень, к которому приваривается скоба для подвески протектора на капроновом шнуре и припаивается электрический кабель. Стрелы протектора крепятся на леерных стойках корабля и в случае необходимости могут быть легко сняты или завалены вдоль бортов.

Электрический кабель, идущий от протектора, соединяется с корпусом корабля через регулировочный реостат и штепсельную розетку, которая служит для включения измерительных приборов.

Количество протекторов, необходимое для защиты подводной части корпуса корабля, определяется в зависимости от величины подводной поверхности корпуса, электропроводности морской воды, размеров и материала протекторов.

Законсервированные корабли, подвергающиеся индивидуальной протекторной защите, устанавливаются на бочках или у стопки, они не должны иметь электрического контакта с корпусами соседних кораблей. Этим обеспечивается использование и, но протекторов для защиты корпуса только того корабля, на котором они установлены.

Протекторная защита может быть и общая на группе законсервированных кораблей. В этом случае корпуса кораблей лучше всего соединены между собой при помощи электрических кабелей. Для более равномерного распределения потенциала по корпусам кораблей кабельные соединения между ними должны ставиться в нескольких точках. Протекторы в этом случае опускаются в воду между соседними кораблями без стрел при помощи тросов, натянутых между кораблями, и закрепленных на них блоков; стрелы устанавливаются только на внешних бортах крайних кораблей.

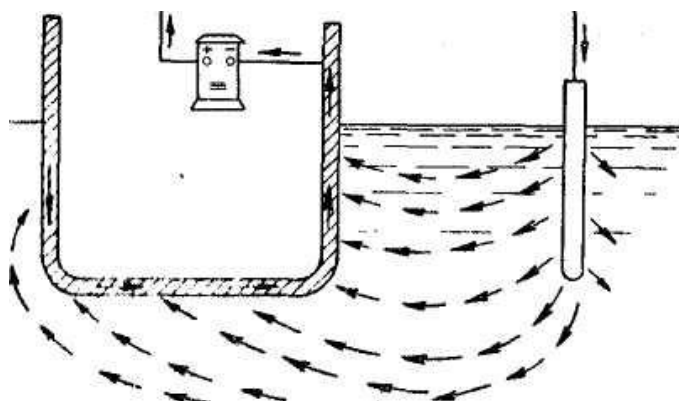
При наличии эффективных средств борьбы с обрастанием протекторная защита может на длительный срок исключить необходимость докования законсервированных кораблей.

Применение на кораблях протекторной защиты в отличие от катодной удобно тем, что не нужно специального источника тока и можно защитить корпуса кораблей, установленных в базах, не имеющих регулярного снабжения электроэнергией.

### **2.6.3 Катодная защита**

Катодная защита осуществляется при помощи постороннего источника постоянного тока, отрицательный полюс которого соединяется с корпусом корабля, а положительный полюс – со специально установленным внешним анодом. Присоединение отрицательного полюса источника тока к корпусу корабля при наличии внешнего анода превращает анодные участки микро- и макропар на корпусе в катодные, т.е. происходит катодная поляризация всей подводной поверхности корпуса корабля. При этом потенциалы анодов и катодов коррозионных пар сближаются и практически выравниваются, что наглядно видно из рисунке 2.9.

Принципиальная схема действия катодной защиты на законсервированных кораблях показана на рисунке 2.9. Ток от положительного полюса источника по изолированному проводу через анод отводится в морскую воду и по корпусу корабля и кабелю возвращается к источнику тока.



**Рисунок 2.9 – Принципиальная схема катодной защиты корпуса корабля**

Движение тока по проводнику показано, как это принято в электротехнике, от положительного полюса к отрицательному. Следует отметить, что в действительности электроны движутся от отрицательного полюса источника тока к защищаемой поверхности. Протекание тока в электролите – морской воде – осуществляется за счет переноса ионов.

Во время действия катодной защиты на защищаемой поверхности образуются нерастворимые осадки углекислой соли кальция и других соединений, которые становятся дополнительной защитой от коррозии подводной части корпуса корабля. Защитное действие этих осадков сохраняется в течение длительного срока после прекращения действия катодной защиты.

Это объясняется малой растворимостью катодного осадка в морской воде. Следует иметь в виду, что катодный осадок отлагается только на тех участках подводной поверхности корпуса корабля, через которые проходит электрический ток. На окрашенной подводной поверхности корпуса катодный осадок отлагается в местах, где нарушено лакокрасочное покрытие. Если подводная поверхность корпуса полностью свободна от краски, то количество катодного осадка, отложившегося, на отдельных ее участках, зависит от плотности защитного тока на этих участках.

По мере увеличения плотности тока на катоде количество осадка сначала возрастает до определенного максимума, а затем при дальнейшем увеличении плотности тока уменьшается. Это явление есть результат интенсивного выделения водорода на катоде при высоких плотностях тока и соответствующих им значениях потенциала. Пузырьки водорода, выделяющиеся на катоде при разрядке водородных ионов, разрыхляют и удаляют осадок с поверхности катода, препятствуя наращиванию катодной пленки. Начало выделения водорода соответствует плотности тока, равной  $28 \text{ мА/см}^2$  ( $2,8 \text{ мА/дм}^2$ ).

Катодный осадок, нанесенный на стальную поверхность за 60 суток при плотности тока  $2 \text{ мА/дм}^2$ , обеспечивает надежную защиту от коррозии стальной поверхности сроком до 150 суток после отключения катодной защиты.

Таким образом, катодная защита корпуса корабля может быть осуществлена двумя способами: поддержанием на корпусе корабля минимального защитного потенциала и нанесением на подводную поверхность корпуса катодного осадка.

Расположение анодов на кораблях должно обеспечить равномерное распределение защитного тока по всей подводной поверхности защищаемых корпусов. Это осуществляется расположением анодов по длине кораблей и по глубине погружения с таким расчетом, чтобы потенциал корпуса любого корабля во всех точках при действии катодной защиты был примерно одинаковым.

Для питания катодной защиты должен быть выбран такой источник, который обеспечил бы непрерывную подачу электроэнергии на аноды. В качестве таких источников питания могут быть использованы аккумуляторные батареи или специальные генераторы постоянного тока, рассчитанные на низкие напряжения и большие токи. При наличии в районе стоянки кораблей трехфазного переменного тока для питания катодной защиты можно использовать селеновые выпрямители.

*Работа станции катодной защиты складывается из двух этапов.*

На **первом этапе**, когда лакокрасочное покрытие на подводной части корпусов защищаемых кораблей находится в удовлетворительном состоянии, работа станции катодной защиты сводится к поддержанию на корпусах кораблей минимального защитного потенциала. Этот этап охватывает два–три года после докования кораблей и установки на них катодной защиты. Продолжительность первого этапа зависит от состояния лакокрасочного покрытия на подводной части защищаемых кораблей.

При работе станции катодной защиты на этом этапе электроэнергия расходуется на защиту от коррозии только тех небольших участков корпуса, которые случайно оказались свободными от краски. Остальная поверхность подводной части корпуса защищается лакокрасочным покрытием и электроэнергии не требует. При неправильной эксплуатации станции катодной защиты время первого этапа работы



может сократиться за счет преждевременного разрушения лакокрасочного покрытия, которое происходит при слишком высоком потенциале корпуса корабля.

На **втором этапе**, когда лакокрасочное покрытие утратило свои защитные свойства, станция катодной защиты используется для периодического нанесения на подводные поверхности корпусов защищаемых кораблей катодного осадка. Как уже было сказано выше, катодный осадок может обеспечить длительную защиту от коррозии подводной части корпуса корабля и после отключения катодной защиты, причем время защитного действия катодного осадка более чем в два раза превышает время его нанесения. Таким образом, питание катодной защиты на двух группах кораблей можно осуществить от одного источника тока.

*В этом случае режим работы станции катодной защиты следующий:*

- источник тока подключается к первой группе кораблей для нанесения на их подводные поверхности необходимого слоя катодного осадка;
- за время защитного действия катодного осадка на первой группе кораблей катодный осадок наносится от того же источника на корпуса кораблей второй группы;
- после разрушения катодного осадка на первой и образования его на второй группе кораблей катодная защита вновь переключается на корабли первой группы и т.д.

Мощность источника питания катодной защиты выбирают исходя из обеспечения второго этапа работы при плотности тока на катоде  $2 \text{ мА/дм}^2$ . Как было сказано выше, при такой плотности тока катодный осадок является наиболее плотным и имеет хорошее сцепление с поверхностью металла.

**Основными преимуществами катодной защиты по сравнению протекторной являются следующие:**

1. Возможность использования катодной защиты на конвейерных кораблях, стоящих в воде с малой электропроводностью. Необходимая величина защитного тока в этом случае может быть установлена путем регулирования величины приложенного напряжения.
2. Возможность нанесения катодного осадка на подводные части корпусов кораблей, стоящих в морской воде, при повышенной плотности защитного тока и использование этого осадка как средства защиты от коррозии. Катодная защита в этом случае может включаться в действие периодически, что обеспечивает уменьшение расхода электроэнергии и материала анодов.
3. Возможность использования одного источника питания для защиты от коррозии корпусов двух групп кораблей путем поочередного нанесения на их подводные поверхности слоя катодного осадка.
4. Падение напряжения в проводах, идущих к анодам, может быть компенсировано приложенным напряжением.

**Для обеспечения надежной работы катодной защиты на консервируемых кораблях должны соблюдаться следующие основные требования:**

- источник электроэнергии должен обеспечить длительное непрерывное питание катодной защиты;
- провода, идущие к анодам, должны быть водонепроницаемы и хорошо изолированы;

- аноды должны быть надежно изолированы от металлических деталей их крепления во избежание растворения этих деталей в период работы катодной защиты;
- должна быть исключена возможность соприкосновения анодов с корпусами кораблей во избежание короткого замыкания источника тока.

#### ***2.6.4 Электрокоррозия и борьба с ней***

Разрушение металла под действием тока от внешнего источника называется **электрокоррозией**. Величина этого тока определяется величиной сопротивления коррозионной среды и величиной приложенного напряжения.

Ввиду того что величина приложенного напряжения может быть достаточно большой, скорость разрушения при электрокоррозии может значительно превышать скорость обычной коррозии. Природа электрокоррозии предопределяет и методы борьбы с ней.

Электрический ток, проходящий в растворе через металлические электроды, вызывает на них различные процессы в зависимости от направления тока.

Если ток проходит из металла в раствор, т.е. металл соединен с положительным полюсом источника тока (анодная поляризация), то происходит электролитическое растворение металла. При обратном направлении тока, т.е. при прохождении тока из раствора в металл (катодная поляризация), когда металл соединен с отрицательным полюсом источника тока, на металле происходит в зависимости от силы тока или восстановление растворенного кислорода, или (при большей силе тока) выделение водорода.

Анодная поляризация корпуса корабля как при его непосредственном соединении с источником тока, так и когда корпус является промежуточным электродом, обуславливает коррозионное разрушение корпуса. Процесс электролитического растворения металла подчиняется закону Фарадея: уменьшение толщины металла, растворяющаяся под действием тока, наложенного извне пропорционально плотности этого тока.

Анодная поляризация, вызывающая растворение металла, возможна не только при непосредственном соединении металла с положительным полюсом источника тока, но и тогда, когда металл, погруженный в раствор электролита, расположен таким образом, что ток, проходящий через раствор между другими электродами, разветвляется и часть его (блуждающий ток) проходит через данный металл (рисунок 2.10).

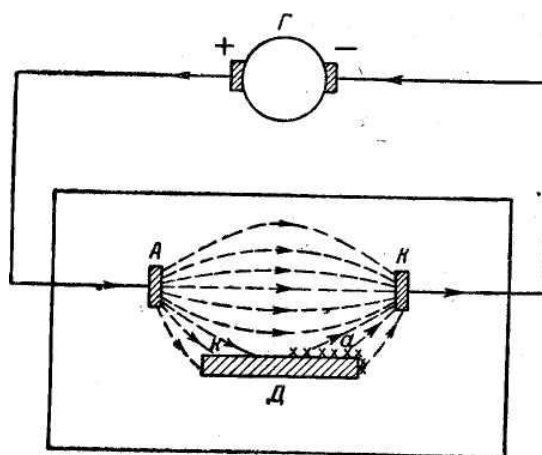


Рисунок 2.10 – Схема возникновения блуждающих токов

Для стали **скорость электрокоррозии** определяется следующей зависимостью:

$$P = 1,14D \quad (2.17)$$

где  $P$  — скорость разрушения стали, мм/год;

$D$  – плотность тока на поверхности стали, А/м<sup>2</sup>.

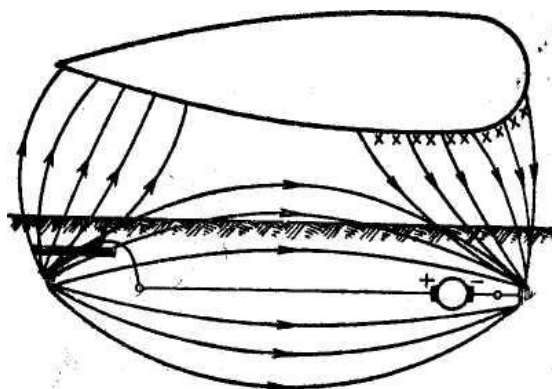
Из зависимости видно, каких больших значений может достигнуть скорость разрушения металла при электрокоррозии. Например, при плотности тока в каком-либо районе подводной части корпуса, равной 5 А/м<sup>2</sup>, толщина наружной обшивки корпуса в районах с указанной плотностью тока будет уменьшаться в следствие естественной коррозии в воде (морской воде), скорость которой составляет в среднем 0,1 – 0,15 мм в год.

Прохождение электрического тока через подводную часть корпуса, вызывающее электрокоррозию, обусловлено двумя причинами:

1. неправильными схемами питания потребителей электрического тока на корабле в период его консервации и расконсервации;
2. наличием в районе стоянки законсервированного корабля блуждающих токов.

Схемы питания током потребителей, находящихся на кораблях в период их консервации и расконсервации, должны обеспечить прохождение всего тока на корабль и с корабля по проводам и устранить возможность ответвления его через корпус в воду.

Блуждающие токи могут возникнуть в акватории, если на берегу работает электротранспорт, использующий в качестве обратного провода рельсы, проходящие вблизи берега. Блуждающие токи возникают также от местных источников, например, при расположении нагрузочного реостата при испытании корабельных генераторов во время расконсервации корабля за бортом в воде. На рисунке 2.11 приведена схема такого расположения реостата. Из рисунка видно, что забортный реостат развивает мощные блуждающие токи, проходящие через корпус корабля и вызывающие коррозию.

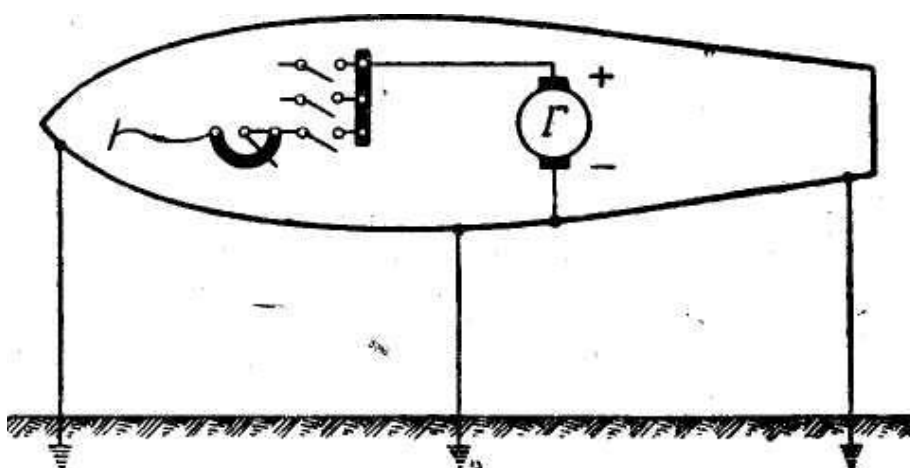


x x x – район электрокоррозии

**Рисунок 2.11 – Электрокоррозия корпуса корабля от блуждающих токов при однопроводной схеме сварочных работ на берегу**

Характерной особенностью действия блуждающих токов является то, что законсервированный корабль может подвергаться электрокоррозии, хотя на нем не производятся никакие работы, связанные с потреблением тока и с включением корпуса в электрическую цепь.

Борьба с электрокоррозией корпусов кораблей при выполнении на кораблях сварочных и других работ, связанных с потреблением с берега электрического тока, надежнее всего осуществляется путем применения схем питания, которые устраняют возможность прохождения тока через корпус в воду. Это достигается помещением генератора (рисунок 10.12) непосредственно на том корабле, на котором производятся работы. Такая схема полностью исключает возможность прохождения тока через корпус в воду, так как ток, вырабатываемый генератором, замыкается на корпусе. Здесь какие-либо упущения при производстве работ недостаточный контроль за состоянием электросети не вызывают возникновения электрокоррозии. Заземляющие провода, показанные на рисунке 2.12, нужны только в том случае, когда возможна электрокоррозия блуждающими токами от соседних кораблей или от других источников.



**Рисунок 2.12 – Схема питания током энергопотребителей на корабле от генератора, установленного на том же корабле, исключающая возможность электрокоррозии корпуса**

Сложнее обстоит дело, если источник блуждающих токов неизвестен. Тогда приходится считаться с их наличием в данном районе акватории и добиваться только

снижения действия блуждающих токов до некоторого допустимого уровня путем установки дренажных проводов. Этот способ состоит в том, что параллельно цепи блуждающих токов между корпусам корабля и берегом включаются дренажные провода со значительно более низким электрическим сопротивлением, чем сопротивление соответствующих участков морской воды, по которым проходят блуждающие токи. Вследствие этого основная часть блуждающих токов устремляется по дренажным проводам и тем самым ослабляется ток, проходящий через подводную часть корпуса. При дренажном способе защиты от блуждающих токов основной задачей является определение сечения дренажных проводов и их размещение по корпусу корабля.

Сечение дренажных проводов для каждого района стоянки кораблей подбирается практическим путем. С этой целью увеличивают сечение первоначально установленных дренажных проводов до тех пор, пока разность потенциалов между корпусом корабля и берегом или между корпусами соседних кораблей не станет ниже установленных норм на 30–50%. По нормам средняя разность потенциалов не должна превышать в морской воде 30 мВ, а в пресной воде 60 мВ на 1 м расстояния между корпусами соседних кораблей или от корпуса до берега. При значительных блуждающих токах (вызывающих разности потенциалом между кораблем «берегом или между соседними кораблями на 75–100% выше нормы) сечение дренажных проводов рассчитывается по следующим формулам:

*для морской воды*

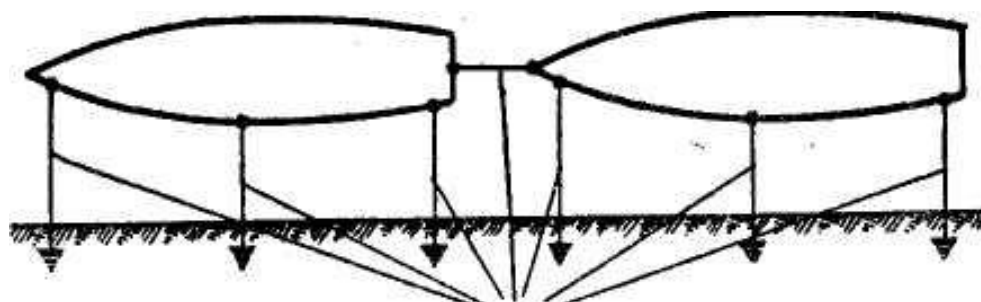
$$q = 1,2F \quad (2.18)$$

*для пресной воды*

$$q = 0,6F \quad (2.19)$$

где  $q$  – суммарное сечение дренажных проводов на одном корабле, мм<sup>2</sup>;  
 $F$  – величина поверхности подводной части корабля, м<sup>2</sup>.

При расположении рядом двух неодинаковых кораблей сечение дренажных проводов рассчитывается исходя из поверхности подводной части большого корабля. Сечение всех дренажных проводов на корабле должно быть по возможности одинаковым. Сечение каждого провода определяется путем деления расчетного сечения на число проводов. Для дренажных проводов могут быть использованы демонтированные провода и кабели, в том числе с нарушенной изоляцией.



Дренажные провода

**Рисунок 2.13 – Схема размещения дренажных проводов при стоянке кораблей бортом к берегу**

Количество дренажных проводов и их размещение по корпусу корабля определяется исходя из практических соображений, на основании которых могут быть рекомендованы схемы, приведенная на рисунке 10.13.

Применение дренажных проводов является частичным решением задачи ослабления действия блуждающих токов на подводную часть корпуса корабля. Этот способ отличается простотой осуществления, надежностью и несложностью контроля и является эффективным не только для борьбы с блуждающими токами, но также и для устранения токов на подводной части корпуса, возникающих из-за нарушения схем питания электропотребителей на корабле. Защита корпусов кораблей от электрокоррозии может быть эффективна, если выполнение предусмотренных мероприятий систематически контролируется.

## ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### **Практическое занятие 1. Тема: Оценка надежности судовых механизмов на основе статистических данных.**

Надежность объектов нарушается возникающими отказами. Отказы рассматривают как случайные события. Для количественной оценки надежности используются методы теории вероятности и математической статистики. Показатели надежности могут определяться чисто аналитическим путем на основе математической модели – математического определения надежности. Показатели надежности могут определяться в результате обработки опытных данных – это статистическое определение показателя надежности.

Перечень показателей надежности определяется стандартом ГОСТ 27.002-89.

***Вероятность безотказной работы*** – вероятность того, что в пределах заданной наработки  $t$  отказ не возникнет.

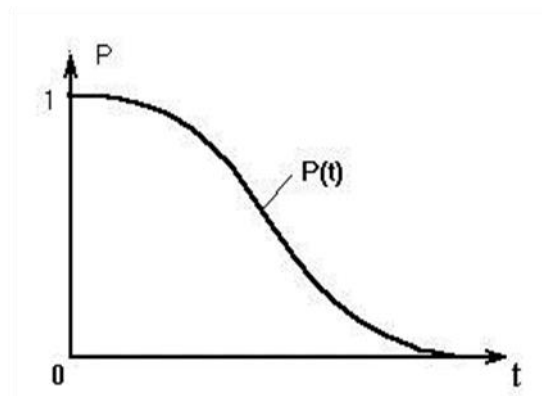
$$P(t) = \frac{N_p}{N} = 1 - \frac{n(t)}{N}, \quad (1)$$

где  $N_p$  – число работоспособных объектов на момент  $t$ ;

$N$  – общее число наблюдаемых объектов;

$n(t)$  – число объектов, отказавших на момент  $t$  от начала испытаний или эксплуатации.

Вероятность безотказной работы уменьшается с увеличением времени работы или наработки объекта. Зависимость вероятности безотказной работы от времени характеризуется кривой убыли ресурса объекта, пример которой приведен на рис. 1.



**Рисунок 1 – Зависимость безотказной работы от времени**

В начальный момент времени для работоспособного объекта вероятность его безотказной работы равна единице (100 %). По мере работы объекта эта вероятность снижается и стремится к нулю.

Вероятность отказа характеризуется вероятностью возникновения отказа на момент времени  $t$ ;

$$Q(t) = 1 - P(t) = \frac{n(t)}{N}, \quad (2)$$

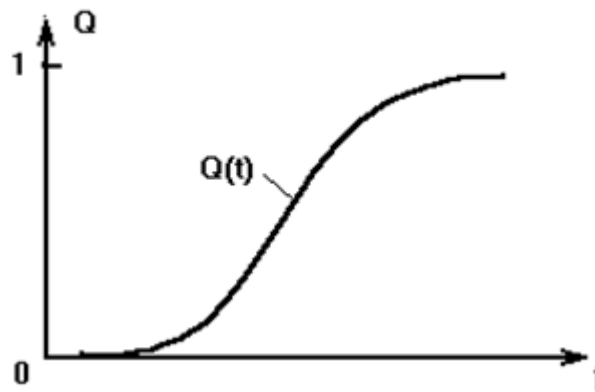
где  $n(t)$  – число объектов, отказавших на момент  $t$  от начала испытаний или эксплуатации;

$N$  – общее число наблюдаемых объектов.

Вероятность возникновения отказа объекта возрастает с увеличением срока эксплуатации или наработки.

Пример зависимости вероятности возникновения отказа от времени показан на рис. 2. Для работоспособного объекта в начальный момент времени вероятность отказа близка к нулю. Для того, чтобы отказ проявился, объекту необходимо начать работать, при этом вероятность отказа увеличивается с увеличением времени и стремится к единице.





**Рисунок 2 – Вероятность возникновения отказа от времени**

Вероятность отказа может быть также охарактеризована плотностью вероятности отказа

$$f(t) = \frac{dQ}{dt} \text{ или } f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}, (3)$$

где  $\Delta n(t)$  – число отказов за промежуток времени  $\Delta t$ ;

$N$  – общее число наблюдаемых объектов.

*Пример 1.* После 500 часов наработки из 56 агрегатов, поставленных на эксплуатацию, в работоспособном состоянии оказалось 43 агрегата. Определить вероятность безотказной работы агрегата в течение 500 час.

*Решение:*

Используем формулу для определения вероятности безотказной работы объекта

$$P(500) = \frac{43}{56} = 0,768$$

Вероятность безотказной работы агрегата в течение 500 часов составляет 76,8 %.

*Пример 2.* Для предыдущего примера определить вероятность отказа агрегата за 500 часов работы.

*Решение:*

Используем формулу для вероятности отказа

$$Q(500) = 1 - P(500) = 1 - 0,768 = 0,232$$

или

$$Q(500) = \frac{56-43}{56} = 0,232$$

Таким образом, вероятность отказа агрегата за 500 часов составляет 23,2 %.

При определении вероятности безотказной работы и вероятности отказов широко используются две основных теоремы для определения вероятности случайного события.

1. Вероятность появления одного из двух несовместных событий равна сумме вероятности этих событий:

$$P(A+B) = P(A)+P(B), (4)$$

где  $A, B$  – несовместные события.

2. Вероятность совместного появления нескольких независимых событий равна произведению вероятностей этих событий:

$$P(A_1A_2...A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot ... \cdot P(A_n). (5)$$

Первая теорема используется для нахождения вероятности отказа при возможности у объекта нескольких видов несовместных отказов. С использованием

второй теоремы определяют вероятность безотказной работы объекта, состоящего из многих элементов, вероятность безотказной работы которых известна.

*Пример 3.* Система состоит из 4-х агрегатов. Надежность каждого агрегата в течение времени  $t$  характеризуется вероятностью безотказной работы 90 %. Найти вероятность безотказной работы системы в течение времени  $t$  при условии независимости отказов агрегатов.

*Решение:*

Используем теорему вероятности совместного появления работоспособного состояния всех агрегатов:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^4 0,9 = 0,656.$$

Следовательно, вероятность безотказной работы системы в течение времени  $t$  равна 65,6 %.

*Пример 4.* В составе агрегата имеются 5 узлов. Вероятность отказа каждого узла в течение времени  $t$  составляет 5 %. Отказы узлов несовместны. Определить вероятность отказа агрегата.

*Решение:*

Используем теорему для вероятности хотя бы одного из нескольких несовместных событий:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n Q_i(t) = \sum_{i=1}^5 0,05 = 0,25.$$

Таким образом, вероятность отказа агрегата в течение времени  $t$  составляет 25 %.

**Интенсивность отказов** – характеризует скорость возникновения отказов объекта в различные моменты времени его работы:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_p \cdot \Delta t} \quad (6)$$

где  $\Delta n(t)$  – число отказов за промежуток времени  $\Delta t$ ;

$N_p$  – число работоспособных объектов на момент  $t$ .

Интенсивность отказов может быть найдена теоретически

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (7)$$

где  $f(t)$  – функция плотности вероятности наработки до отказа (частота отказов);

$P(t)$  – вероятность безотказной работы,

$$f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}. \quad (8)$$

*Пример 5.* На испытание поставлено  $N = 400$  изделий. За время  $t = 3000$  час отказало 200 изделий, т.е.  $N_p = 400 - 200 = 200$ . За интервал времени  $(t, t + \Delta t)$ , где  $\Delta t = 100$  час, отказало 100 изделий, т.е.  $\Delta n(t) = 100$ . Требуется определить  $f(3000)$ ,  $\lambda(3000)$ .

*Решение:*

$$f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t} = \frac{100}{400 \cdot 100} = 2,5 \cdot 10^{-3} (1/\text{час})$$

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_p \cdot \Delta t} = \frac{100}{200 \cdot 100} = 5 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}).$$

**Среднее время безотказной работы** изделия по статистическим данным оценивается выражением

$$m_t^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (9)$$

где  $t_i$  – время безотказной работы  $i$ -го изделия;  $N$ - общее число изделий, поставленных на испытания;  $m_t^*$  - статистическая оценка среднего времени безотказной работы изделия.

*Пример 6.* На испытание поставлено 6 однотипных изделий. Получены следующие значения  $t_i$  ( $t_i$  - время безотказной работы  $i$ -го изделия):  $t_1 = 280$  час;  $t_2 = 350$  час;  $t_3 = 400$  час;  $t_4 = 320$  час;  $t_5 = 380$  час;  $t_6 = 330$  час.

Определить статистическую оценку среднего времени безотказной работы изделия.

*Решение.* По формуле (9) имеем

$$m_t^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{280 + 350 + 400 + 320 + 380 + 330}{6} = 343,3 \text{ час.}$$

### **Задачи для самостоятельного решения**

Задача 1. На испытание поставлено 100 однотипных изделий. За 4000 час. отказало 50 изделий. За интервал времени 4000 - 4100 час. отказало ещё 20 изделий. Требуется определить  $f^*(t)$ ,  $\lambda^*(t)$  при  $t=4000$  час.

Задача 2. На испытание поставлено 100 однотипных изделий. За 4000 час. отказало 50 изделий. Требуется определить  $p^*(t)$  и  $q^*(t)$  при  $t=4000$  час.

Задача 3. В течение 1000 час из 10 деталей отказало 2. За интервал времени 1000 - 1100 час. отказала еще одна деталь. Требуется определить  $f^*(t)$ ,  $\lambda^*(t)$  при  $t=1000$  час.

Задача 4. На испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За первые 3000 час. отказало 80 ламп. За интервал времени 3000 - 4000 час. отказало еще 50 ламп. Требуется определить  $p^*(t)$  и  $q^*(t)$  при  $t=4000$  час.

Задача 5. На испытание поставлено 1000 изделий. За время  $t=1300$  час. вышло из строя 288 штук изделий. За последующий интервал времени 1300-1400 час. вышло из строя еще 13 изделий. Необходимо вычислить  $p^*(t)$  при  $t=1300$  час.

и  $t=1400$  час.;  $f^*(t)$ ,  $\lambda^*(t)$  при  $t=1300$  час.

Задача 6. На испытание поставлено 45 изделий. За время  $t=60$  час. вышло из строя 35 штук изделий. За последующий интервал времени 60-65 час. вышло из строя еще 3 изделия. Необходимо вычислить  $p^*(t)$  при  $t=60$  час. и  $t=65$  час.;  $f^*(t)$ ,  $\lambda^*(t)$  при  $t=60$  час.

Задача 7. На испытание поставлено 8 однотипных изделий. Получены следующие значения  $t_i$  ( $t_i$  - время безотказной работы  $i$ -го изделия):  $t_1 = 560$  час.;  $t_2 = 700$  час.;  $t_3 = 800$  час.;  $t_4 = 650$  час.;  $t_5 = 580$  час.;  $t_6 = 760$  час.;  $t_7 = 920$  час.;  $t_8 = 850$  час. Определить статистическую оценку среднего времени безотказной работы изделия.

**Практическое занятие 2. Тема: Устройство и принцип работы технических средств неразрушающего контроля.**

Физические неразрушающие методы контроля предназначены для обнаружения поверхностных, подповерхностных и внутренних дефектов, а также определения структуры и свойств металла, полученных в результате различных видов упрочняющей обработки.

В дефектоскопии существует большое количество неразрушающих методов контроля, основанных на различных физических явлениях и закономерностях.

Из всего их многообразия в судоремонте нашли применение технические средства диагностики, основанные на применении следующих методов: магнитопорошковый, ультразвуковой, вихретоковый.

### ***Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля.***

Магнитопорошковый метод предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных (на глубине до 1,5-2 мм) дефектов типа нарушения сплошности материала изделия: трещины, волосовины, расслоения, не проварка стыковых сварных соединений, закатов и т.д.

Магнитный поток в бездефектной части изделия не меняет своего направления. Если же на пути магнитного потока встречаются участки с пониженной магнитной проницаемостью, например, дефекты в виде разрыва сплошности металла (трещины, неметаллические включения и т.д.), то часть силовых линий магнитного поля выходит из детали наружу и входит в нее обратно, при этом возникают местные магнитные полюсы (N и S) и, как следствие, магнитное поле над дефектом. Т.к. магнитное поле над дефектом неоднородно, то на магнитные частицы, попавшие в это поле, действует сила, стремящаяся затянуть частицы в место наибольшей концентрации магнитных силовых линий, то есть к дефекту. Частицы в области поля дефекта намагничиваются и притягиваются друг к другу как магнитные диполи под действием силы так, что образуют цепочные структуры, ориентированные по магнитным силовым линиям поля.

Наибольшая вероятность выявления дефектов достигается в случае, когда плоскость дефекта составляет угол 90 град. с направлением намагничивающего поля (магнитного потока). С уменьшением этого угла чувствительность снижается и при углах, существенно меньших 90 град. дефекты могут быть не обнаружены.

### **Существуют различные виды магнитопорошкового контроля:**

– «Сухой» и «мокрый» способы нанесения индикатора на контролируемый объект

– Флуоресцентный или цветной индикатор для контроля при ультрафиолетовом УФ или дневном свете

### **Этапы магнитопорошкового контроля (технологические операции при магнитопорошковом контроле)**

#### **1. Подготовка детали к контролю.**

Подготовка детали к магнитопорошковому контролю заключается в очистке поверхности детали от отслаивающейся ржавчины, грязи, а также от смазочных материалов и масел, если контроль проводится с помощью водной суспензии или сухого порошка. Если поверхность детали темная и черный магнитный порошок на ней плохо виден, то деталь иногда покрывают тонким просвечивающим слоем белой контрастной краски.

Подготовительные работы для обеспечения эффективности магнитопорошковой дефектоскопии:

- демонтажно-монтажные работы;
- удаление загрязнений;
- удаление влаги;
- предотвращение попадания влаги во внутренние полости деталей и изделий;
- удаление лакокрасочного покрытия;
- нанесение на поверхность детали белой краски
- зачистка мест электрического контакта;
- снятие электростатических зарядов с проверяемой детали.

## **2. Намагничивание детали.**

Намагничивание детали является одной из основных операций контроля. От правильного выбора способа, направления и вида намагничивания, а также рода тока во многом зависит чувствительность и возможность обнаружения дефектов.

При магнитопорошковом контроле деталей применяют циркулярное, полюсное и комбинированное намагничивание.

### ***Циркулярное намагничивание проводят:***

- пропусканием тока непосредственно по детали;
- пропусканием тока по центральному проводнику;
- пропусканием тока по тороидальной обмотке;
- пропусканием тока по участку детали с применением электроконтакторов;
- возбуждением индукционного тока в детали.

### ***Продольное (полюсное) намагничивание проводят:***

- в соленоиде;
- с применением катушки
- с помощью переносного электромагнита;
- в стационарных электромагнитах;
- постоянными магнитами;
- способом «перемещения полюса магнита по объекту».

***Комбинированное намагничивание (одновременное действие на проверяемую деталь двух полей) проводят:***

- пропусканием тока по объекту и с применением электромагнита;
- пропусканием тока по объекту и с применением соленоида;
- пропусканием по объекту двух токов во взаимно-перпендикулярных направлениях;
- пропусканием по объекту и соленоиду токов, сдвинутых по фазе 90°.

## **3. Нанесение на поверхность детали магнитного индикатора (порошка или суспензии).**

Оптимальный способ нанесения суспензии заключается в окунании детали в бак, в котором суспензия хорошо перемешана, и в медленном удалении из него. Однако этот способ не всегда технологичен. Чаще суспензию наносят с помощью аэрозоли, шланга или душа. Напор струи должен быть достаточно слабым, чтобы не смывался магнитный порошок с дефектных мест. При сухом методе контроля эти требования относятся к давлению воздушной струи, с помощью которой магнитный порошок наносят на деталь.

Время стекания с детали дисперсной среды, имеющей большую вязкость (например, трансформаторного масла), относительно велико, поэтому производительность труда дефектоскописта уменьшается.

#### **4. Осмотр детали. Расшифровка индикаторного рисунка и разбраковка.**

Дефектоскопист должен осмотреть деталь после стекания с нее основной массы суспензии, когда картина отложений порошка становится неизменной.

Детали проверяют визуально, но в сомнительных случаях и для расшифровки характера дефектов применяют оптические приборы, тип и увеличение которых устанавливают по нормативным документам. Увеличение оптических средств не должно превышать  $\times 10$ .

Разбраковку деталей по результатам контроля должен производить опытный дефектоскопист. На рабочем месте дефектоскописта необходимо иметь фотографии дефектов или их дефектограммы (реплики с отложениями порошка, снятые с дефектных мест, с помощью клейкой ленты или другими способами), а также контрольные образцы с минимальными размерами недопустимых дефектов.

Вид и форма валиков магнитного и люминесцентного магнитного порошка во многих случаях помогают распознать нарушения сплошности.

#### **5. Размагничивание и контроль размагниченности. Удаление с детали остатков магнитного индикатора.**

Кроме намагничивания при магнитном контроле детали могут намагничиваться при электродуговой сварке, при случайном контакте с постоянным магнитом или электромагнитом и т.д. Магнитные поля не размагниченных деталей могут вызвать нежелательные последствия при дальнейшей работе. В связи с этим детали тщательно размагничивают и проверяют качество размагничивания.

Применяют 3 основных способа размагничивания:

- нагрев изделия до температуры точки Кюри, при которой магнитные свойства материала пропадают. Этот способ применяют крайне редко, так как при таком нагреве могут изменяться механические свойства материала детали, что в большинстве случаев недопустимо.

- прохождение детали через зону переменного или постоянного (с изменением направления) магнитного поля. В результате убывания магнитного поля деталь размагничивается.

- воздействием на деталь переменного или постоянного поля с уменьшающейся амплитудой тока от максимального значения до нуля при одновременном периодическом изменении его полярности.

#### ***Назначение, устройство, работа малогабаритного переносного магнитопорошкового дефектоскопа МДМ - 2***

Дефектоскоп предназначен для проведения неразрушающего контроля изделий из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью не менее 40. Используется для контроля в авиационной, автомобильной, железнодорожной и других видах техники магнитопорошковым методом с целью выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в их материале. Он относится к переносным специализированным средствам контроля и рассчитан для работы в цеховых, лабораторных или полевых условиях.

Дефектоскоп позволяет контролировать различные по форме и размерам изделия, их сварные швы, внутренние поверхности отверстий и другие зоны путем намагничивания отдельных участков или изделия в целом. Контроль осуществляется с помощью набора намагничивающих устройств, питаемых постоянным, переменным или импульсным токами. Дефектоскоп обеспечивает при проведении магнитопорошкового метода возможность использования двух способов контроля изделий: на остаточной намагниченности и приложенного поля циркулярным или продольным полем.

Документирование результатов контроля, при обнаружении дефектов материала в изделии, может быть обеспечено изготовлением магнитограмм посредством снятия отпечатка рисунка отложения магнитного порошка с применением липкой полиэтиленовой ленты или другого материала, а также фотографированием, с указанием масштаба изображения и зоны расположения дефекта на поверхности изделия.

Внешний вид магнитопорошкового переносного модульного дефектоскопа МДМ-2 представлен на рис. 3.



**Рисунок 3 – Внешний вид дефектоскопа МДМ-2**

Дефектоскоп состоит из электронного блока и намагничивающих устройств.

Электронный блок может быть подключен как к сети переменного тока 220В, 50Гц, так и к сети постоянного напряжения 24 В. Для автономной работы в электронном блоке встроен литий-ионный аккумулятор, заряжающийся при подключении прибора к сети 220В, 50Гц.

В зависимости от решаемых задач при проведении магнитопорошкового метода неразрушающего контроля изделий применяется один из режимов работы или, при необходимости, последовательно используются все режимы и намагничивающие устройства. Перед началом работы необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации дефектоскопа, назначением и работой каждого режима дефектоскопа и намагничивающих устройств. Для проведения контроля установите дефектоскоп на рабочем месте, подготовьте необходимые для работы намагничивающие устройства, соединительные кабели, подключите их прибору. Приготовьте магнитную суспензию и устройства для освещения и осмотра контролируемой зоны. При использовании материалов видимых в ультрафиолетовом (UV) диапазоне необходимо использовать специальные защитные очки и перчатки для защиты рук.

Для возбуждения постоянного магнитного поля в объектах контроля, при работе с дефектоскопом, используется шарнирный электромагнит постоянного тока. Это обеспечивает хороший магнитный контакт с изделиями различной геометрической формы. Магнитопровод электромагнита выполнен из магнитомягкой электротехнической стали и снабжен обмоткой, рассчитанной на ток до 5,0 А (при длительном включении). Кнопка включения намагничивания установлена на корпусе электромагнита. Включение и выключение электромагнита возможно также кнопкой на клавиатуре прибора. Шарнирные соединения магнитопровода обеспечивают удобную установку полюсов электромагнита на контролируемую деталь.

#### ***Ультразвуковой метод неразрушающего контроля.***

Ультразвуковой метод контроля относится к неразрушающим методам. Этот метод широко применяют для контроля сварных соединений из низколегированных и низкоуглеродистых сталей, алюминия, меди и их сплавов.

Распространяющиеся в упругом теле механические деформации называются акустическими или упругими волнами. Их подразделяют на инфразвуковые (частота колебания до 30 Гц), звуковые (20 - 20•10<sup>4</sup> Гц), ультразвуковые (от 2•10<sup>4</sup> до 10<sup>9</sup> Гц) и гиперзвуковые (свыше 10<sup>9</sup> Гц). При распространении акустической волны частицы среды, по которым они проходят, совершают колебания относительно точек равновесия. Если частицы колеблются вдоль, то такие волны называются продольными, если перпендикулярно – поперечными. В твердом теле могут возникать как продольные, так и поперечные волны. Различают также поверхностные волны, распространяющиеся только по поверхности тела. Для контроля сварных соединений при ультразвуковой дефектоскопии в основном используют поперечные и продольные ультразвуковые волны. Скорость ультразвуковых волн зависит от свойств материала или среды, в которой они распространяются.

Ультразвуковая волна несет в направлении своего движения определенную энергию, которая характеризуется интенсивностью ультразвука (количество энергии, которая переносится волной за 1 с через 1 см<sup>2</sup> площади, перпендикулярной направлению распространения). По мере распространения ультразвуковой волны интенсивность ее падает. О длине пути волны можно судить по величине коэффициента затухания. В твердых телах он складывается из коэффициента поглощения и рассеяния.

Для возбуждения ультразвуковых колебаний используется пьезоэлектрический эффект, сущность которого заключается в том, что при растяжении и сжатии некоторых кристаллов в определенном направлении на их поверхности возникает электрический заряд. Электрические колебания от генератора высокой частоты при помощи пьезокристаллов превращаются в механические колебания частотой до 500 и 1000 МГц.

Если к поверхности детали приложить пьезопластину, которая подключена к генератору высокой частоты, то в металле начнут распространяться ультразвуковые волны, которые, попадая на другую пьезопластину, вызывают в ней пьезоэлектрические заряды. Эти заряды могут быть поданы на усилитель и воспроизведены индикатором.

Для ввода ультразвуковых колебаний и приема отраженных от дефектов, а также предохранения пьезопластины от механических повреждений и износа последнюю помещают в специальное устройство, называемые ультразвуковыми пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП), щупами, искателями.



ПЭП делятся на несколько типов: совмещенный – излучатель и приемник ультразвуковых волн в одном корпусе ПЭП; отдельный – излучение и прием ультразвуковой волны выполняют два отдельных ПЭП; раздельно-совмещенный – излучение и прием ультразвуковой волны выполняют два отдельных кристалла, которые расположены в одном корпусе ПЭП. Волны могут распространяться непрерывно или в виде импульсов. Это зависит от режима работы генератора.

Для проведения ультразвукового контроля применяются специальные ультразвуковые дефектоскопы, которые обеспечивают излучение ультразвуковых колебаний, прием и регистрацию отраженных сигналов и определение координат обнаружения дефектов. Ультразвуковой дефектоскоп состоит из электронного блока (собственно дефектоскоп), набора ПЭП, соединительных кабелей и различных вспомогательных устройств.

### ***Назначение, устройство, работа ультразвукового дефектоскопа УСД-50***

Дефектоскоп ультразвуковой УСД-50, в дальнейшем дефектоскоп, предназначен для контроля продукции на наличие дефектов (обнаружения дефектов) типа нарушение сплошности и однородности различных материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат залегания дефектов, измерения толщины изделий и скорости распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в материале, с использованием пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) работающих на частотах от 0,5 до 15 МГц.

Дефектоскоп сохраняет работоспособность при контроле материалов и изделий со скоростями распространения продольных волн УЗК в диапазоне от 1000 до 9999 м/с, при этом допустимое значение затухания продольных УЗК в материалах определяется глубиной залегания, размерами, ориентацией дефектов и типом применяемых ПЭП.

Диапазон измеряемых временных интервалов от 0 до 1000 мкс, что соответствует толщине контролируемого материала (при скорости УЗК 6000 м/с) 6000 мм теневым методом и 3000 мм эхо-методом. Дефектоскоп может быть применен в машиностроении, металлургической промышленности, на железнодорожном, авиационном и других видах транспорта, энергетике и других отраслях для контроля изделий основного производства и технологического оборудования.

Дефектоскоп реализует теневой, эхо и зеркально-теневой методы контроля



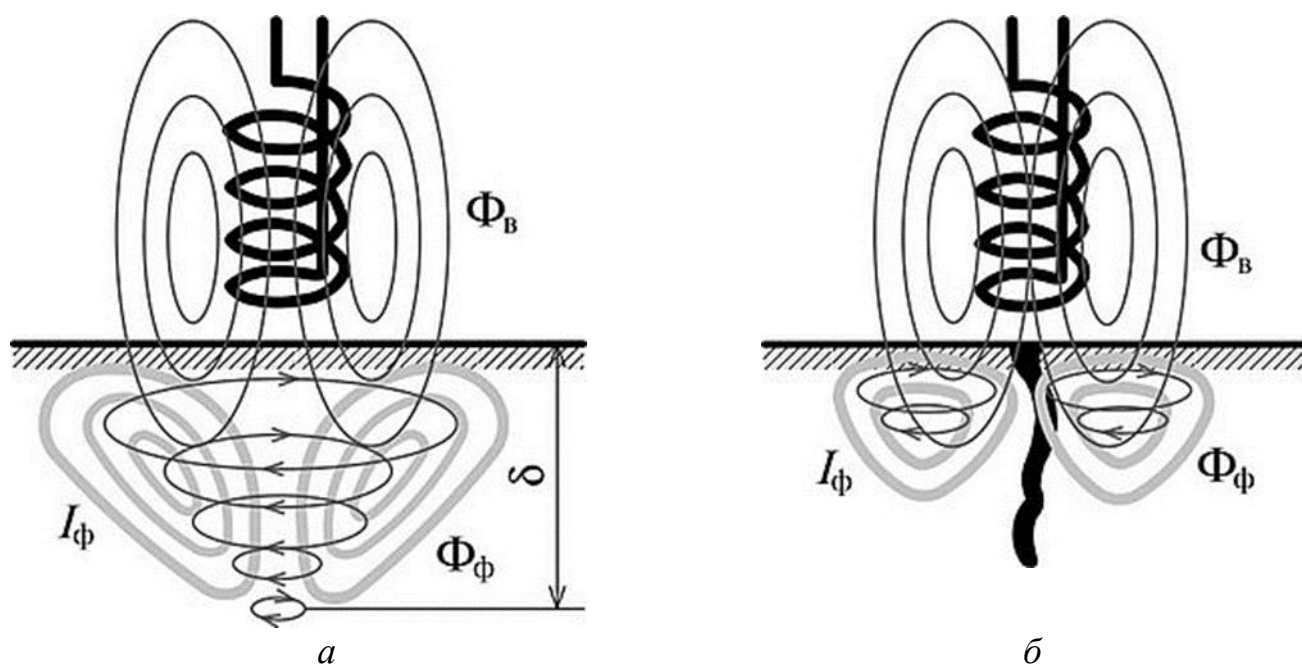
Рисунок 4 – Внешний вид дефектоскопа УСД–50

### ***Вихретоковый метод неразрушающего контроля.***

Метод вихревых токов предназначен для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов в виде несплошностей (трещин, пор, рыхлот, раковин), а также позволяет производить сортировку некоторых видов материалов по маркам, выявлять степень разупрочнения материала, определять неоднородности структуры и отклонения химического состава в электропроводящих изделиях. При помощи токовихревого метода можно измерять толщины покрытий, листовых материалов и труб.

Токовихревой метод основан на регистрации изменения взаимодействия собственного электромагнитного поля катушки с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых этой катушкой в контролируемом объекте.

Сущность метода заключается в следующем. На контролируемую деталь накладывается миниатюрная катушка (датчик), питаемая током высокой частоты. Под воздействием электромагнитного поля катушки (первичного) в определенном объеме металла возбуждаются вихревые токи (рис.5), которые текут в поверхностных слоях материала по кольцевым концентричным окружностям. Средний диаметр траектории вихревых токов (пятно вихревых токов) соизмерим с диаметром катушки (1,0—1,6 диаметра катушки). Величина возбуждаемых токов зависит от величины и частоты переменного тока, свойств материала детали, электропроводности, магнитной проницаемости и формы изделия, относительного расположения катушки и изделия, а также от наличия в изделии неоднородностей или несплошностей.



**Рис. 5. Схема вихретокового неразрушающего контроля:**  
**а** — монолитный металл; **б** — металл с трещиной;  $\Phi_{\text{в}}$  — возбуждающее электромагнитное поле;  $\Phi_{\text{ф}}$  — наведенное электромагнитное поле;  $I_{\text{ф}}$  — вихревые токи;  $\delta$  — глубина проникновения

Чем больше частота возбуждающего тока, электропроводность и магнитная проницаемость материала детали, тем меньше глубина, на которой могут быть наведены вихревые токи в металле. Вихревые токи создают в некотором объеме материала вторичное электромагнитное поле. Электромагнитное поле вихревых токов по направлению противоположно наводящему. Вследствие этого вихревые токи влияют на полное сопротивление катушки возбуждения, находящейся в непосредственной близости к изделию. Используя измерительную катушку, можно также получить информацию о характере вихревых токов по величине ЭДС, которая наводится электромагнитным полем вихревых токов и пропорциональна им.

Таким образом, ток, протекающий в катушке, несет информацию об изделии, его размерах, механических и химических свойствах, а также о наличии или отсутствии дефектов. Характеристики вторичного магнитного поля определяют на образце без дефекта из аналогичного материала. Если возбуждающую катушку (датчик) поместить над дефектом, изменится и характер вихревых токов. Вместо одного вихревого поля при наличии трещины возникают два поля. Создаваемое разделенное вихревыми токами собственное поле будет иметь не такие характеристики, как при прохождении датчика над неповрежденным участком металлической детали. При прохождении датчика прибора над дефектом можно получить соответствующий сигнал. Сигнал, снятый с катушек-датчиков, усиливается и в электросхемах прибора преобразуется в сигналы, регистрируемые микроамперметрами, самописцами, звуковыми сигнализаторами или передаваемые на экран электронно-лучевой трубки.

По мере проникания вглубь металла вихревые токи быстро затухают, поэтому метод вихревых токов используют только для обнаружения трещин и других поверхностных и расположенных неглубоко под поверхностью дефектов.

Контроль вихревыми токами определяется следующими основными факторами:

- свойствами контролируемой детали (размерами, электропроводностью, магнитной проницаемостью, наличием дефектов);
- характеристиками приборов (частотой переменного тока, размерами и формой преобразователя, его расстоянием от контролируемой детали).

### ***Вихретоковый дефектоскоп Вектор 50***

Вихретоковый дефектоскоп ВЕКТОР-50 – это новый универсальный прибор, предназначенный для контроля металлических, графитовых, полупроводниковых и других токопроводящих изделий на наличие поверхностных и подповерхностных трещин, нарушений сплошности и однородности материалов. Дефектоскоп ВЕКТОР-50 также используется для измерения толщины защитных покрытий, глубины поверхностных трещин, определения электропроводности и содержания ферритной фазы в нержавеющей хромоникелевых сталях. Основные сферы применения прибора – машиностроение, энергетика, металлургия, объекты железнодорожного, авиационного, автомобильного и трубопроводного транспорта.

Принцип работы дефектоскопа ВЕКТОР-50 основан на измерении параметров электромагнитного поля (амплитуды и фазы), создаваемого вихревыми токами, возбуждаемыми преобразователем в поверхностном слое металлов, токами, возбуждаемыми преобразователем в поверхностном слое металлов, обусловленных изменением однородности или проводимости материала. Принятый прибором сигнал усиливается и после цифровой обработки, отображается на индикаторе в графическом виде. Амплитуда и фаза сигнала отображаются на индикаторе прибора в цифровом виде.

Дефектоскоп ВЕКТОР-50 работает с любыми накладными или проходными дифференциальными и абсолютными преобразователями на частотах от 10 Гц до 20 МГц. Также прибор поддерживает любые динамические (ротационные) преобразователи при использовании специальных переходников. Чувствительность контроля определяется свойствами контролируемого материала, типом преобразователей, глубиной залегания, размерами, ориентацией и типом дефектов.

В комплект вихретокового дефектоскопа ВЕКТОР-50 входит СД-диск с программным обеспечением.

Дефектоскоп ВЕКТОР-50 имеет ведомственные допуски для работы на объектах речного и морского транспорта, а также объектах гражданской авиации.

Внешний вид дефектоскопа ВЕКТОР-50 приведен на рис.6.



**Рисунок 6 – Вихретоковый дефектоскоп Вектор–50**

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислить методы неразрушающего контроля.
2. Особенности магнитопорошкового метода контроля.
3. Особенности ультразвукового метода контроля.
4. Особенности вихретокового метода контроля.

### Практическое занятие 3. Тема: Дефектация вала методом линейных измерений.

К характерным дефектам коленчатого вала дизеля относят:

- изнашивание шатунных и рамовых шеек с образованием овальности и конусообразности;
- прогиб вала вследствие неравномерности изнашивания рамовых подшипников;
- царапины, риски, задиры на поверхности шеек в результате попадания в масло твёрдых частиц или из-за подплавления подшипников.

Рамовые и шатунные шейки коленчатого вала подвергаются нормальному физическому изнашиванию, которое сопровождается изменением их формы поверхности и профиля продольного сечения.

К изменению формы поверхности шейки относят некруглость, овальность (эллиптичность) и огранку. К изменению профиля продольного сечения шейки — конусообразность, бочкообразность, корсетность и изогнутость.

По результатам измерения определяют овальность и конусообразность шеек и делают заключение о величине и характере износа шеек после сравнения их с предельно допускаемыми износами.

Для определения величины изменения формы поверхности и профиля продольного сечения шатунных шеек их измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, вертикальной и горизонтальной, и в трёх поперечных сечениях по длине шейки (нос - середина, корма). Два крайних пояса измерений (нос, корма) располагаются на расстоянии  $0,4L$  от середины шейки ( $L$  — длина шейки).

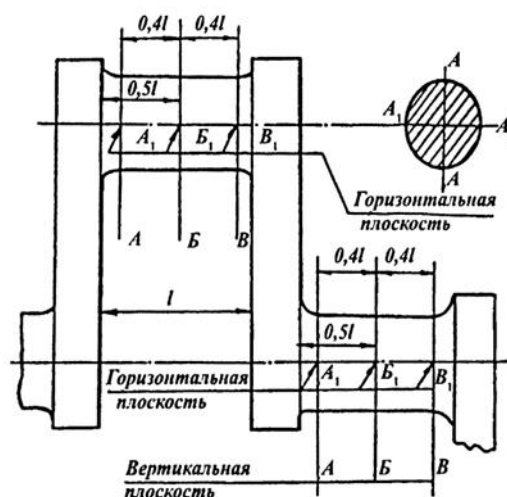


Рисунок 7 – Схема измерений шатунных и рамовых шеек

Если коленчатый вал демонтирован (приподнят), рамовые шейки измеряют так же, как и шатунные шейки. Если коленчатый вал не демонтирован, шейки измеряют специальной микрометрической скобой, которую «заводят» между рамовой шейкой и

фундаментной рамой после демонтажа нижнего вкладыша рамового подшипника. После измерения рамовой шейки вкладыш устанавливают на место.

Вертикальной плоскостью измерения рамовой и шатунной шеек считают плоскость, проходящую через ось рамовых шеек и ось шатунной шейки, когда кривошип шатунной шейки расположен в верхней мертвой точке (ВМТ), или в нижней мертвой точке (НМТ), а горизонтальной плоскостью — когда кривошип шатунной шейки расположен на левом или правом бортах (ЛБ или ПБ).

При измерении шатунной шейки в вертикальной плоскости кривошип шейки устанавливают в ВМТ или НМТ. При измерении любой рамовой шейки в вертикальной плоскости кривошип первого цилиндра также устанавливают в ВМТ или НМТ. Такая схема измерения позволяет правильно установить форму износа шеек и направление большей оси овала.

При совпадении маслоподводящих отверстий с местом установки микрометрической скобы её необходимо сдвинуть вперед или назад от смазочного отверстия.

Пример заполнения таблицы и определения величины износа шеек на овальность и конусообразность приведены в таблице 1:

**Таблица 1. Пример измерения шатунных шеек дизеля 4ЧРН 32/48, мм:**

Номер шейки	Вертикальная плоскость			Горизонтальная плоскость			Наибольший износ	
	А	Б	В	А <sub>1</sub>	Б <sub>1</sub>	В <sub>1</sub>	овальность	конусообразность
1	229,80	229,90	229,90	229,95	229,92	229,85	0,15	0,10
2	229,93	229,92	229,86	229,80	229,86	229,90	0,13	0,10
3	229,82	229,90	229,91	229,94	229,88	229,85	0,12	0,09
4	229,80	229,88	229,90	229,85	229,86	229,95	0,05	0,10

Овальность определяют как разность диаметров в одном сечении:

$$O = D_{\text{макс}} - D_{\text{мин}} = A - A_1; B - B_1; B - B_1.$$

Конусообразность — как разность диаметров в одной плоскости:

$$K = D_{\text{макс}} - D_{\text{мин}} = A - B; A_1 - B_1.$$

Сопоставив полученные значения овальности и конусообразности шеек с предельно допускаемыми значениями, делают заключение об их состоянии и пригодности коленчатого вала к дальнейшей его эксплуатации.



**Таблица 2. Предельно допустимые износы рамовых и шатунных шеек коленчатого вала судовых дизелей, мм:**

Марка дизеля	Рамовые			Шатунные		
	Диаметр	Износ		Диаметр	Износ	
		овальность	конусообразность		овальность	конусообразность
Ч15/18 (ЗД6)	95	0,06	0,04	85	0,04	0,02
ДР30/50	220	0,12	0,12	200	0,10	0,08
Ч31,8/33	240	0,15	0,16	210	0,15	0,15
ЧРН32/48	215	0,15	0,12	215	0,15	0,10
ЧН32/35 (VASA32)	300	0,05	0,025	270	0,05	0,025
ДР43/61	275	0,15	0,15	275	0,15	0,15
8ZD72/48AL-1	345	0,14	0,09	345	0,12	0,07

Анализ результатов измерений шатунных шеек в таблице 6.5 показывает, что овальность шатунной шейки № 1 составляет 0,15 мм, что является предельно допустимым износом, а конусообразность шатунных шеек № 1, № 2 и № 4 составляет 0,10 мм, что также является предельно допускаемым износом — 0,10 мм.

Кроме перечисленных дефектов у шатунных и рамовых шеек существует дефект, характерный только для шатунных шеек — непараллельное<sup>^</sup> оси шатунной шейки относительно оси коленчатого вала.

В последнее время в судоремонте для проверки непараллельности оси шатунной шейки коленчатого вала применяют прибор квадрант, используемый в геофизике.

Эту проверку выполняют на станке или в судовых условиях при дефектоскопии коленчатого вала. Прибор закрепляют на призму и устанавливают на рамовую шейку. Фиксируют положение её горизонтальной оси, а затем прибор переносят на шатунную шейку, установленную в ВМТ или НМТ. Прибор покажет величину отклонения оси шатунной шейки относительно рамовой шейки, если непараллельность существует. Отклонение непараллельное<sup>™</sup> должно быть не более 0,02 мм/м.

При установке кривошипа в ВМТ или НМТ получаем пересечение осей, а при установке на ПБ или ЛБ — скрещивание осей. Коленчатые валы с трещинами заменяют.

Дефекты рамовых и шатунных шеек коленчатых валов (овальность, конусообразность) устраняют механической обработкой в заводских условиях на токарно-винторезных станках. В случае протачивания рамовых шеек, вал устанавливают на станке в таком положении, при котором его ось совмещается с осью станка. Для этого один конец вала крепят в патроне станка, другой устанавливают на



люнет у задней бабки. Под средние шейки подводят промежуточные люнеты (для коленчатого вала шестицилиндрового дизеля устанавливают, как правило, два люнета). С помощью кулачков патрона и люнета у задней бабки совмещают оси крайних рамовых шеек с осью станка. Промежуточными люнетами добиваются совмещения осей средних рамовых шеек с осью станка. Контроль установки люнетов ведётся по раскепам коленчатого вала, который должен быть в пределах 0,02-0,03 мм. Рамовые шейки протачивают последовательно начиная с шейки, расположенной у патрона станка. После протачивания измеряют биение шеек и, если оно не превышает 0,02-0,03 мм, их шлифуют. Для шлифования применяют шлифовальную машинку, которую закрепляют на суппорте станка.

Шатунные шейки средних и крупных коленчатых валов протачивают с помощью специальной резцовой головки, которую устанавливают на направляющие каретки суппорта станка и центруют её по соответствующей шатунной шейки. После протачивания шейки её шлифуют шлифовальной машинкой.

Деформацию коленчатого вала устраняют механической, термической или термомеханической правкой.

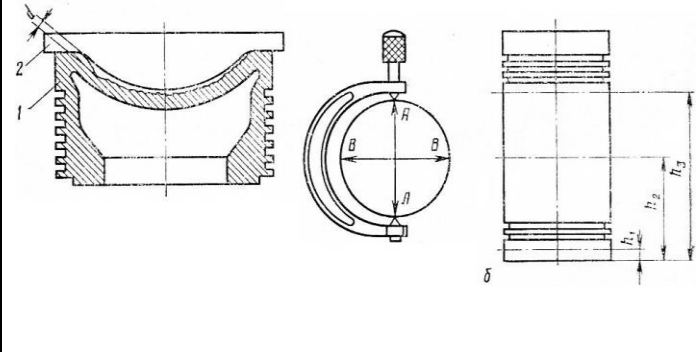
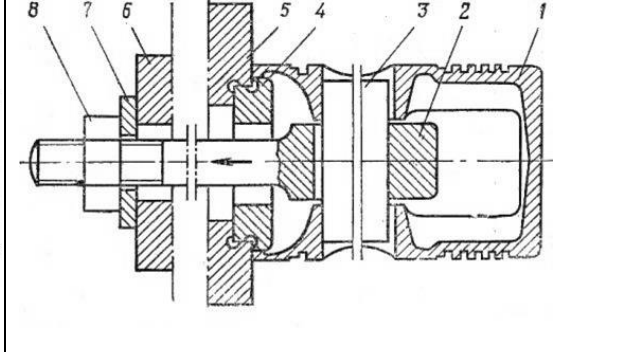
#### **Контрольные вопросы**

1. Основные дефекты коленчатого вала дизеля.
2. Порядок определения величины износа коленчатого вала.
3. Устранение износа шеек коленчатого вала.

#### **Практическое занятие 4. Тема: Дефектация поршня, втулок методом линейных измерений.**

В процессе эксплуатации поршни могут приобретать такие повреждения, как обгорание (прогорание) доньшка, истирание и смятие канавок (для поршневых, задиры рабочих поверхностей тронков, износ, превосходящий допустимые пределы, разъедание внутренней поверхности охлаждаемых головок). У больших поршней изнашивается только тронк, так как стальную головку изготавливают отдельно, и она имеет меньший диаметр, чем диаметр тронка.

На рис. 8 (а) показана схема замера обгорания головки поршня с помощью шаблона. Поршни двигателя обмеряют микрометром больших размеров, который называют микрометрической скобой. Перед обмером поршни очищают от нагара, промывают керосином или дизельным топливом и насухо протирают. На рис. 8(б) представлен порядок обмера тронка поршня микрометрической скобой.

	
<p><b><u>Рис. 8. Замер головки поршня:</u></b></p> <p>А- с помощью шаблона (d- глубина обгорания): 1- поршень; 2- шаблон; б -обмер тронка поршня микрометрической скобой.</p>	<p><b><u>Рис. 9. Крепление поршня на станке:</u></b></p> <p>1 -поршень; 2- захват поршня; 3- палец; 4- центрующее кольцо; 5-торец; 6- шпиндель токарного станка; 7-прокладка; 8- гайка.</p>

Предельный износ тронков поршней на эллиптичность и конусность, т. е. разность диаметров по высоте для поршней крейцкопфного двигателя с диаметром поршня 700-750 мм, составляет 1,6 мм.

Головки поршня изнашиваются в основном по горизонтальным стенкам канавок для поршневых колец, при этом верхние канавки изнашиваются обычно больше нижних. Завод-изготовитель указывает в инструкции по обслуживанию установочные и предельно допустимые зазоры между кольцом и канавкой. Проточку и шлифовку наружной поверхности канавок для колец выполняют на круглошлифовальном станке. На рис.9 показана схема крепления поршня на станке.

Износ канавок поршневых колец определяют при помощи щупа и калибра или нового кольца. Канавку измеряют по окружности в четырех местах - по оси поршневого пальца и перпендикулярно этой оси. Разность между результатами измерений не должна превышать  $0,015 h$  мм, где  $h$ -номинальная высота поршневой канавки. Если разность превышает эту величину, то поршневую канавку необходимо калибровать, а кольца заменить на кольца с большей толщиной. Отверстия в бобышках поршня под поршневой палец измеряют на расстоянии  $0,5 L$  мм, где  $L$ -длина опорной поверхности бобышки поршня. Каждое отверстие измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях: вертикальной и горизонтальной. По результатам измеряют их износ на овальность. Допустимая овальность не должна превышать 0,05 мм.

В связи с большими температурными напряжениями в головках поршней могут появиться трещины. Пораженное место стальных головок зачищают или протачивают на станке, а затем заваривают. Донышко после обварки обрабатывают по шаблону и подвергают гидравлическому испытанию.

При ремонте поршней на некоторых СРП применяют методы восстановления оставиванием, металлизацией и хромированием.

Оксидирование алюминиевых поршней двигателей повышает твердость наружного слоя, исключает обгорание поверхности донышка поршня.

Гильзы цилиндров относят к классу «полых стержней». Их изготавливают из серого чугуна марок СЧ-18, СЧ-22 твердостью соответственно НВ 179...229 и НВ 156...197;

специального высокопрочного легированного чугуна, рабочая поверхность которых подвергается закалке токами высокой частоты (ТВЧ) до HRC 42...50. В конструкции некоторых гильз используют вставки из легированного чугуна HB 156...197.

Основные дефекты гильзы цилиндров двигателя:

- трещины и сколы;
- износ или задиры отверстия под поршень;
- износ нижнего посадочного пояска.

Рабочая поверхность гильзы (отверстие под поршень) изнашивается наиболее интенсивно, т. к. при перемещении поршня попадают абразивные частицы из топливно-воздушной смеси и масла. Детали сопряжения гильза-поршень работают при высоких температурах, повышенном давлении, граничном трении (тонкий слой смазки), в агрессивной среде, что также является причиной интенсивного износа внутренней поверхности гильзы.

Для дефектации необходимо следующее оборудование и оснастка: лабораторный стол, лупа четырехкратного увеличения, микрометр с интервалом измерения 75...100 мм, индикаторный нутромер НИ 80-100 ГОСТ 868–82.

Последовательность проведения дефектации гильз цилиндров :

#### 1. Осмотр гильз цилиндров

Провести визуальный контроль гильз цилиндров с лупой четырехкратного увеличения для выявления внешних дефектов. Установить наличие выбраковочных признаков (трещин, сколов, рисок, выработки и др.). Результаты записать в дефектовочную ведомость (табл. 2).

#### 2. Замер нижнего и верхнего посадочных поясков.

Замерить микрометром диаметры посадочного пояска, во взаимно-перпендикулярных плоскостях А-А и Б-Б. Результаты записать в таблицу замеров.

#### 3. Замер отверстия под поршень

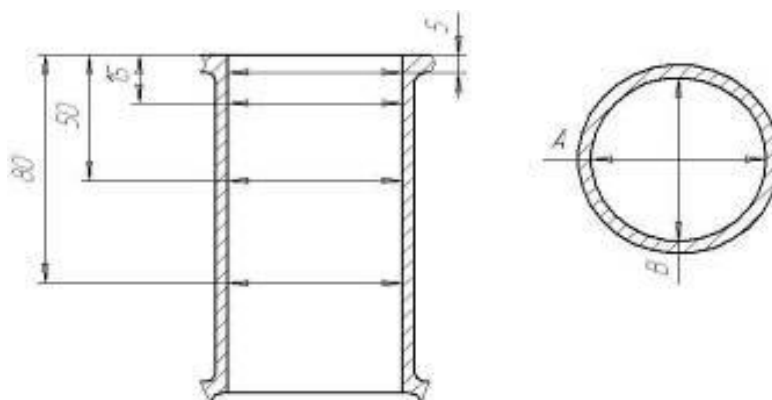
С помощью индикаторного нутромера замерить диаметр отверстия под поршень в сечениях I-I (расположено ниже выработки от верхнего поршневого кольца); II-II (посередине гильзы); III-III (на 20 мм выше нижнего обреза гильзы) (рис. 10) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях А-А и Б-Б. Результаты замеров записать в таблицу замеров.

Определение величины общего износа

$$I_{\text{общ}} = D_{\text{н}} - D_{\text{и}}, \text{ мм}$$

где  $D_{\text{н}}$  – наибольшее значение диаметра всех замеренных гильз (использовать величину с наибольшим износом), мм;

$D_{\text{и}}$  – диаметр гильзы до начала эксплуатации (номинальный диаметр), мм.



**Рисунок 10 – Схема измерения цилиндров: А и В - направления измерений**

Определение величины максимального одностороннего износа

$$И = \beta \cdot И_{общ}, \text{ мм}$$

где  $\beta$  – коэффициент неравномерности износа ( $\beta = 0,5 \dots 1,0$ ). Для гильз цилиндров  $\beta = 0,6$ .

Определение погрешностей геометрической формы (нецилиндричности и овальности).

Для отверстия под поршень каждой гильзы необходимо определить три значения овальности и два нецилиндричности (бочкообразности, седлообразности, конусообразности).

Овальность определяют для сечения I-I в плоскостях А-А, Б-Б; для сечения II-II в плоскостях А-А, Б-Б; для сечения III-III в плоскостях А-А, Б-Б и рассчитывают по формуле

$$\Delta_{ов} = D_{А-А} - D_{Б-Б}, \text{ мм}$$

где  $D_{А-А}$  – диаметр гильзы в плоскости А-А, мм (рис. 10);

$D_{Б-Б}$  – диаметр гильзы в плоскости Б-Б, мм (рис. 10).

Нецилиндричность (для посадочных поясков – конусообразность) определяют в плоскости А-А сечений I-I; II-II; III-III и в плоскости Б-Б сечений I-I; II-II; III-III и рассчитывают по формуле

$$\Delta_{кон} = D_{max} - D_{min}, \text{ мм}$$

где  $D_{max}$  – максимальный диаметр гильзы в данном сечении, мм;

$D_{min}$  – минимальный диаметр гильзы в данном сечении, мм.

Определение размера обработки отверстия под поршень.

Расчет проводят по гильзе с предельным размером отверстия под поршень по формуле

$$D_p = D_n + 2(\beta И_{общ} + Z), \text{ мм}$$

где  $Z$  – минимальный односторонний припуск на обработку (для расточки и хонингования  $2Z = 0,150$  мм).

Назначение категории ремонтных размеров для всех гильз

Для назначения категории ремонтных размеров (РР) сравнивают результаты расчета со значениями РР и выбирают ближайшее большее значение по условию  $D_{pp} \geq D_p$  (здесь  $D_{pp}$  – категорийный ремонтный размер, мм).

### **Контрольные вопросы**

1. Основные дефекты поршней.
2. Основные дефекты гильз(втулок).
3. Порядок измерения износа поршней.
4. Порядок измерения износа гильз(втулок)

### **Практическое занятие 5. Тема: Дефектация деталей капиллярными методами.**

Капиллярные методы позволяют выявить поверхностные или подповерхностные открытые дефекты в виде трещин и пор. Они основаны на капиллярных свойствах жидкости, проникающей в открытые дефекты, и ее адсорбции на поверхности дефектов. Данный метод пригоден для выявления несплошностей с поперечными размерами 0,1 - 500 мкм, в том числе сквозных, на поверхности черных и цветных металлов, сплавов, керамики, стекла и т.п. Широко применяется для контроля целостности сварного шва.

Контроль капиллярным методом осуществляется в соответствии с ГОСТ 18442-80 “Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.”

Различают керосино–меловой, цветной и люминесцентный методы капиллярной дефектоскопии.

***Керосино-меловой метод.*** В прежние времена для нахождения дефектов использовали керосин. Эта жидкость широко применялась в быту и технике. Керосин почти не испаряется в обычных условиях, но обладает хорошей проникающей способностью, благодаря низкой вязкости и высокой полярности.

Очищенная поверхность детали смачивается керосином, протирается насухо, затем наносится слой меловой обмазки. Керосин способен растекаться по поверхности и образовывать тонкие молекулярные пленки. Выходя на поверхность детали из дефекта, он окрашивает мел. По оттенку сухого и смоченного керосином мела судят о характере дефекта. Керосино-меловой способ (проба) обладает малой чувствительностью, однако применяется, например, для контроля плотности сварных швов.

Выделяют четыре вида контроля с помощью керосина:

- простой керосиновый.
- керосин с применением вибрации.
- керосин с использованием вакуума.
- керосин с применением пневматических свойств.

Простой керосиновый способ заключается в том, что остывшее после сварки соединение с одной стороны красят водной суспензией коалина или мела, после высыхания суспензии, другую сторону смазывают керосином и наблюдают за реакцией.

В керосинопневматическом методе на смоченную керосиновым раствором поверхность направляют струю сжатого воздуха под давлением около 0,4 МПа, что повышает чувствительность испытания и ускоряет выявление повреждений.

При керосиновакуумном методе смачиваются швы изделия, устанавливается вакуумная камера, с помощью которой создается перепад давлений воздуха. В

результате капиллярное давление вместе с разностью давления воздуха повышает точность результатов испытания.

Керосиноввибрационный способ проводится с применением ультразвука. На смоченную керосином поверхность начинают воздействовать ультразвуковыми колебаниями, при это повышается его проникающая способность в соединение и таким образом можно получить более точные результаты.

### **Люминесцентная дефектоскопия (ЛД). Цветная дефектоскопия (ЦД).**

Способ состоит в изменении светоотдачи дефектов заполнением их с поверхности специальными свето- и цветоконтрастными индикаторными жидкостями - пенетрантами. Если в состав пенетранта входят люминесцирующие вещества, т. е. вещества, дающие яркое свечение при облучении их ультрафиолетовым светом, то такие жидкости называют люминесцентными, а метод контроля соответственно - люминесцентным (люминесцентная дефектоскопия - ЛД). Если же основой пенетранта являются красители, видимые при дневном свете, то метод контроля называют цветным (цветная дефектоскопия - ЦД). В цветной дефектоскопии используют красители ярко-красного цвета.

Пенетрантом (пенетрант от английского penetrate - проникать) называют капиллярный дефектоскопический материал, обладающий способностью проникать в несплошности объекта контроля и индицировать эти несплошности. Пенетранты содержат красящие вещества (цветной метод) или люминесцирующие добавки (люминесцентный метод), или их комбинацию. Добавки позволяют отличать пропитанную этими веществами область слоя проявителя над трещиной от основного (чаще всего белого) сплошного без дефектов материала объекта (фон).

Проявителем (проявитель) называют дефектоскопический материал, предназначенный для извлечения пенетранта из капиллярной несплошности с целью образования четкого индикаторного рисунка и создания контрастирующего с ним фона. Таким образом, роль проявителя в капиллярном контроле заключается, с одной стороны, в том, чтобы он извлекал пенетрант из дефектов за счет капиллярных сил, с другой стороны, - проявитель должен создать контрастный фон на поверхности контролируемого объекта, чтобы уверенно выявлять окрашенные или люминесцирующие индикаторные следы дефектов. При правильной технологии проявления ширина следа в 10 ... 20 и более раз может превосходить ширину дефекта, а яркостный контраст возрастает на 30 ... 50 %. Этот эффект увеличения позволяет опытным специалистам даже невооруженным глазом выявлять очень маленькие трещины.



**Рисунок 11 Порядок проведения капиллярного контроля**

В качестве красящих жидкостей используются специальные составы, разработанные: 80% керосина, 15% трансформаторного масла, 5% скипидара и 10 г

краски Судан-3 на 1 л жидкости. В этом же институте был подобран и другой состав, отличающийся большей смачивающей способностью скипидара, 80% керосина и 10 г на 1 л жидкости краски Судан-4.

Время проникновения красящей жидкости колеблется от 3 до 20 мин и зависит от состава и вязкости жидкости, типа испытываемых материалов, глубины и формы дефектов, температуры и других факторов. По истечении времени, необходимого для пропитки дефектов, избыток красящей жидкости удаляется, исследуемый участок насухо протирается.

Затем кистью или с помощью краскораспылителя на этот участок тонким и равномерным слоем наносится суспензия из каолина. После просушивания, которое способствует выделению красящей жидкости, исследуемый участок тщательно осматривается. При наличии дефектов выделившаяся из них жидкость окрашивает каолин в красный цвет, и все дефекты на белом фоне каолина приобретают четкую конфигурацию.

Контроль качества сварных соединений. Перед испытанием контролируемый шов тщательно очищается от окалины, брызг металла и других посторонних включений. Затем, как было указано ранее, на поверхность очищенного шва наносится красящая жидкость и выдерживается от 10 до 20 мин до полного проникновения жидкости в дефекты шва, после чего поверхность шва промывается раствором кальцинированной соды и высушивается. Далее шов покрывается равномерным слоем суспензии каолина в воде и снова высушивается. Для более полного выявления дефектов осмотр шва производится дважды через 3-5 и через 20-30 мин после просушивания. Появление красных полос на белом фоне каолина указывает на наличие трещин, отдельные красные пятна и точки свидетельствуют о пористости шва.

В случае люминесцентной дефектоскопии изделие освещают ультрафиолетовым светом (ультрафиолетовый осветитель) в затемненном помещении и подвергают осмотру. Дефекты хорошо заметны в виде ярко светящихся полосок, точек и т.п.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое капиллярный метод контроля.
2. Пояснить суть керосино-мелового контроля.
3. Пояснить суть цветной дефектоскопии.
4. Порядок проведения капиллярного метода контроля.

### **Практическое занятие 6. Тема: Составление ведомости дефектации**

Ведомость дефектации деталей (ВДД) составляют на детали и сборочные единицы ремонтируемого изделия для определения дефектов с указанием контролируемых параметров, применяемых средств измерения, способа устранения дефектов и трудовых нормативов.

Допускается ВДД составлять на детали и сборочные единицы различных изделий.

Ведомость дефектации деталей следует составлять по формам, приведенным на рис.12,13.

**Таблица 3. Содержание граф ведомости дефектации деталей**

Номер графы	Содержание графы
1	Номер цеха, в котором выполняется процесс дефектации
2	Код, вид ремонта (текущий, средний, капитальный)
3	Обозначение, наименование детали, сборочной единицы, подлежащих дефектации, по конструкторскому документу
4	Код, наименование дефекта
5	Номинальное, допустимое значение контролируемого параметра по чертежу или нормативно-техническому документу с указанием единицы измерения
6	Измеренное значение контролируемого параметра с указанием единицы измерения
7	Код, наименование приспособления, измерительного инструмента
8	Обозначение технологического документа, содержащего описание процесса ремонта (восстановления) детали, сборочной единицы
9	Количество деталей, сборочных единиц, подлежащих замене
10	Количество деталей, сборочных единиц подлежащих восстановлению
11	Код профессии по классификатору
12	Данные в графе следует записывать дробью. В числителе указывают количество рабочих, занятых на дефектации, в знаменателе – разряд работы, выполняемой при дефектации
13	Данные в графе следует записывать дробью. В числителе указывают код тарифной сетки, определяющей условия работы (горячие, холодные и др.), а в знаменателе – код вида нормы (расчетной, хронометражной, опытно-статистической и др.)
14	Данные в графе следует записывать дробью. В числителе указывают норму подготовительно-заключительного времени на процесс дефектации, в знаменателе – норму штучного времени на процесс дефектации
15	Особые указания. В графе следует указывать требования к ремонтируемым деталям, сборочным единицам; способ устранения дефекта (замена, ремонт при отклонении измеренного значения контролируемого параметра от допустимого). Допускается графу не заполнять
16	Код или номер заказа на ремонтируемые изделия
17	Порядковый номер изделия
18	Номер партии ремонтируемого изделия
19	Количество ремонтируемых изделий в партии

Графы форм следует заполнять в соответствии с таблицей 3.



<b>Ведомость дефектации</b>				Номер листа	Код, вид ремонта	РТМК – С «Василий Каленов»		
1 Обозначение, наименование детали, сборочной единицы	2 Код, наименование дефекта	3 Контролируемый параметр		4 Приспособление, измерительный инструмент (код, наименование)	5 Обозначение документа	6 Кол-во детале		7 Особые указания
		номинальное, допустимое значение	измеренное значение			замена	восстановление	
Блок	кавитационное	1 = 50мм	1 = 35мм	визуальный	технические	—	1	Заделка
цилиндров	разрушение			осмотр	требования			разрушения
	поверхности							эпоксидным
	охлаждения							компаунд-
								ным клеем

Рис.12. Пример заполнения ведомости дефектации

<b>Ведомость дефектации</b>				Номер листа	Код, вид ремонта			
1 Обозначение, наименование детали, сборочной единицы	2 Код, наименование дефекта	3 Контролируемый параметр		4 Приспособление, измерительный инструмент (код, наименование)	5 Обозначение документа	6 Кол-во детале		7 Особые указания
		номинальное, допустимое значение	измеренное значение			замена	восстановление	

Рис.13 Ведомость дефектации

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение ведомости дефектации детали.
2. Какую информацию должна содержать ведомость дефектации детали?
3. Что такое дефект?
4. Что понимают под процессом дефектации?
5. Виды технического состояния объекта.
6. Какое событие называют отказом, повреждением?

### **Практическое занятие 6. Тема: Составление ремонтной ведомости**

Ремонтная ведомость является основным документом, определяющим номенклатуру, объем и трудоемкость работ по судну, а также расход и стоимость материалов и готовых изделий на выполнение этих работ.

Индивидуальная ремонтная ведомость (ИРВ) составляется в период подготовки судна к ремонту при отсутствии типовой ремонтно-технологической документации.

ИРВ составляется на основе определения дефектов конкретного механизма, узла, детали. С целью обеспечения достоверности в оценке технического состояния материальной части судна а, следовательно, и записей в ИРВ, последние должны составляться на основе:

- анализа и сопоставления данных наблюдений и записей в судовых журналах о техническом состоянии узлов и агрегатов судна с нормами допустимых износов частей корпуса, механизмов и их деталей;

- учета актов освидетельствования, предписаний и требований Морского Регистра Судоходства РФ и других органов надзора;

- использования данных об опыте предыдущего ремонта и ремонта судов близких типов.

Записи в ИРВ должны содержать данные о характере, номенклатуре и объеме ремонтных работ (основных и сопутствующих), необходимые для определения предварительной трудоемкости и стоимости ремонта судна, описание работ должно быть четким и однозначным.

Индивидуальная ремонтная ведомость подразделяется на корпусную, механическую, рефрижераторную, технологическую, доковую, электротехническую и радиотехническую части.

Каждая часть ИРВ оформляется в виде отдельной брошюры, разбивается на разделы, каждый из которых начинается с нового листа и нумеруется.

Листы основного содержания ИРВ выполняются по форме приведенной в приложении Г.

Графы 6, 9–11 заполняются судоремонтным предприятием.

В графе 1 указывается номер позиции ИРВ – сквозной по всей части порядковый номер работ (новые позиции, включаемые в ИРВ в процесс ее уточнения, могут нумероваться цифрами и буквой, например, 23а, 23б и т. д.). При необходимости отдельные работы, объединенные в одну позицию, могут дополнительно иметь буквенные обозначения, которые указываются непосредственно в графе 2.

В графу 2 заносятся перечень и краткое описание ремонтных работ в технологической последовательности их выполнения

В графе 3 проставляют количество рабочих необходимых для выполнения каждой операции.

В графе 4 записывается разряд работы и специальности рабочих. Специальности рабочих указывают сокращенно согласно рекомендуемому ограничительному перечню специальностей рабочих, приведенному в таблице 4.

В графе 5 указывают нормы времени в соответствии с действующими УКН, классификаторами или типовыми технологическими документами.

В графе 6 указывают общее время (чел.\*час), необходимое для выполнения ремонтной операции (определяется перемножением значений, внесенных в графы 3 и 5).

В графу 8 записывают основные и вспомогательные материалы, средства контроля, технологическая оснастка, расходные материалы.

В графе 9 указываются единицы измерения величин материалов.

Наименование судна <u>Буксир-толкач</u> объект ремонта <u>блок цилиндров</u>											
Заказчик <u>Речное пароходство</u> стр. <u>1</u> Ремонтная ведомость											
1 Но- мер п.п.	2  Наименование работ	3 Количес- тво рабочих	4 Норма времен и, чел.час	5 Общее время, чел.час	6 За- рп ла та	7 Пробный мате- риал	8 Ед. измере- ния		9 Ц е н а	10 С у м м а	11 В с е г о
							кг	шт.			
1	Подготовительная	2	0,5	1		Набор ключей и					
	Слить воду, масло, отсоединить					инструментов					
	трубопроводы, выпускной коллектор										
2	Демонтаж общий	3	5	15		Набор ключей и					
	Ослабить и отдать анкерные связи.					инструментов,					
	Демонтировать крышки цилиндров, ЦПГ					подвесные тали					
3	Дефектация узла	2	0,5	1		Лупа					
	Произвести осмотр блока на										
	наличие трещин. При необходимости										
	произвести очистку полости охлаждения										
4	Произвести заделку трещин компаунд-	2	24	48		Ремонтное					
	ным клеем. Контроль					оборудование					
5	Произвести монтаж узла	3	5	15		Ключи, инструмент					
6	Произвести гидравлические испытания	2	0.5	1							

Рисунок 14– Пример оформления ремонтной ведомости

Наименование судна _____ объект ремонта											
Заказчик _____ стр. _____ Ремонтная ведомость											
1	2	3	4	5	6	7	8		9	10	11
Но- мер п.п.	Наименование работ	Колич ество рабоч их	Норма времени, чел.час	Общее время, чел.час		Пробный материал	Единицы измерения		Ц е н а	С у м м а	В с е г о
							кг	шт.			

[illegible]

#### Таблица 4. Перечень специальностей рабочих

На практическом занятии обучающиеся должны предоставить заполненную ремонтную ведомость и ответить на контрольные вопросы.

1. Назначение ремонтной ведомости.
2. На основе каких данных составляется ремонтная ведомость?

3. Какие данные должны содержать записи в индивидуальной ремонтной ведомости?

4. На какие части подразделяется индивидуальная ремонтная ведомость?

### **Практическое занятие 7. Тема: Оформление маршрутно-технологической карты, карты эскизов.**

Маршрутная карта – это документ, предназначенный для маршрутно-операционного описания технологического процесса или указания полного состава технологических операций при описании изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения по всем операциям различных технологических методов в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, технологической оснастке, материальных нормативах и трудовых затратах.

Для изложения технологических процессов в МК используют способ заполнения, при котором информацию вносят построчно, несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой служебный символ. Служебные символы условно выражают состав информации, размещаемой в графах данного типа строки.

Допускается не проставлять служебный символ на последующих строках, несущих ту же информацию, при описании одной и той же операции, на данном листе документа.

В качестве обозначения служебных символов приняты буквы русского алфавита, проставляемые перед номером соответствующей строки, и выполняемые прописной буквой, например: **М01**, **А12** и т. д.

Указание соответствующих служебных символов для типов строк, в зависимости от размещаемого состава информации, в графах МК следует выполнять в соответствии с таблицей 5.

На строках, расположенных ниже граф, в которых указаны их наименования и обозначения, служебные символы проставляет разработчик документов с учетом выбранного им способа заполнения документов.

При заполнении информации на строках, имеющих служебные символы **А**, **Б**, **К**, **М** следует руководствоваться правилами по заполнению соответствующих граф, расположенных на этих строках.

Описание содержания переходов в операциях следует выполнять с привязкой к служебному символу **О** по всей длине строки с возможностью переноса информации на последующие строки. Запись операций и переходов следует выполнять:

по ГОСТ 3.1702 – 79 – для обработки резанием;

по ГОСТ 3.1703 – 79 – для слесарных, слесарно-сборочных работ; по ГОСТ 3.1705 – 81 – для сварки.

При операционном описании технологического процесса на МК номер перехода следует проставлять в начале строки.

Указание данных по технологической оснастке следует выполнять с привязкой к служебному символу **Т** в следующей последовательности:

стапели, приспособления, вспомогательный инструмент, слесарный и слесарно-монтажный инструмент, режущий инструмент, специальный инструмент, средства измерений. Запись информации по технологической оснастке следует выполнять по всей длине строки с возможностью переноса информации на последующие строки.

**Таблица 5 Служебные символы**

Обозначение служебного символа	Содержание информации, вносимой в графы
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам
К	Информация по комплектации изделия (сборочной единицы составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, обозначения подразделения, откуда поступают комплектующие составные части, кода единицы величины, единицы нормирования количества на изделие и нормы расхода
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, информация о применяемых вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования и кода материала обозначения подразделений, откуда поступают материалы, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
О	Содержание операции (перехода)
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке

Допускается:

а) выполнять отдельную запись информации по видам технологической оснастки с применением условных обозначений ее видов:

- стапели – СТ;
- приспособления – ПР;
- вспомогательный инструмент – ВИ;
- слесарный и слесарно-монтажный инструмент – СЛ;
- режущий инструмент – РИ;
- специальный инструмент – СП;
- средства измерения – СИ.

б) выполнять на каждой строке запись кода (обозначения) и наименования одного вида технологической оснастки.

Разделение информации по каждому средству технологической оснастки следует выполнять через знак «;».

В случае неприменения какой-либо технологической оснастки, записывают оснастку, следующую по порядку очередности.

Допускается не указывать количество применяемых единиц технологической оснастки.

Графические иллюстрации к операциям следует выполнять на карте эскизов (КЭ).

Последовательность заполнения карты для каждой операции по типам строк приведена в таблице 6.

Графы форм маршрутной карты следует заполнять в соответствии с табл. 7.

**Таблица 6 Последовательность заполнения карты**

Вид технологического процесса	Номер формы МК	Очередность заполнения служебных символов
ЕТП, выполняемые с применением различных методов обработки	1	M01, M02, А, Б, О, Т
	1а, 1б	А, Б, О, Т
	2	А, Б, К, М, О, Т
	1а, 1б	А, Б, К, М, О, Т
ЕТП сборки	2	А, Б, К, М, О, Т
	1а, 1б	А, Б, К, М, О, Т

**Таблица 7 Графы, заполняемые в маршрутной карте**

Номер	Условное обозначение графы	Служебный символ	Содержание информации
1	—	—	Обозначение служебного символа и порядкового номера строки. Запись выполняют на уровне одной строки
2	—	M01	Наименование, сортамент, размер и марка материала, обозначение стандарта, технических условий. Запись выполняется на уровне одной строки с применением разделительного знака дроби «/», например, лист БОН—2,5*1000x2500 ГОСТ 19903—74/111—IV В ст. 3 ГОСТ 14637 – 79
3	Код	M02	Код материала по классификатору
4	ЕВ	M02, К, М	Код единицы величины (массы, длины, площади и т. п.) детали, заготовки, материала по классификатору СОЕВС
5	МД	M02	Масса детали по конструкторскому документу
6	ЕН	M02, Б, К, М	Единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала или норма времени, например 1, 10, 100
7	Н. расх.	M02, К, М	Норма расхода материала
8	КИМ	M02	Коэффициент использования материала
9	Код заготовки	M02, M03	Код заготовки по классификатору. Допускается указывать вид заготовки (отливки, прокат, поковка и т. п.)

10	Профиль и размеры	M02, M03	Профиль и размеры исходной заготовки. Информацию по размерам следует указывать исходя из имеющихся габаритов, на-пример, лист 1,0*710*1420, 115*270*390 (для отливки)
11	КД	M02, M03	Количество деталей, изготавливаемых из одной заготовки
12	MЗ	M02, M03	Масса заготовки

### Продолжение таблицы 6

Номер	Условное обозначение графы	Служебный символ	Содержание информации
13	—	—	Графа для особых указаний. Порядок заполнения граф и обязательность заполнения устанавливаются в отраслевых нормативно-технических документах
14	Цех	A, B	Номер (код) цеха, в котором выполняется операция
15	Уч.	A, B	Номер (код) участка, конвейера, поточной линии и т. п.
16	PM	A, B	Номер (код) рабочего места
17	Опер.	A, B	Номер операции в технологической последовательности изготовления или ремонта изделия (исключая контроль и перемещение)
18	Код, наименование операции	A, B	Код операции по технологическому классификатору, наименование операции. Допускается код операции не указывать
19	Обозначение документа	A	Обозначение документов, инструкций по охране труда применяемых при выполнении данной операции. Состав документов следует указывать через разделительный знак «;» с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки
20	Код, наименование оборудования	B	Код оборудования по классификатору, краткое наименование оборудования, его инвентарный номер. Информацию следует указывать через разделительный знак «;». Допускается взамен краткого наименования оборудования указывать его модель
21	СМ	B	Степень, механизации (код степени механизации). Обязательность заполнения графы устанавливается в отраслевых нормативно-технических документах
22	Проф.	B	Код профессии по классификатору ОКПДТР
23	P	B	Разряд работы, необходимый для выполнения операции



Продолжение таблицы 6

Номер	Условное обозначение графы	Служебный символ	Содержание информации
24	УТ	Б	Код условий труда по классификатору ОКПДТР и код вида нормы
25	КР	Б	Количество исполнителей, занятых при выполнении операции
26	КОИД	Б	Количество одновременно изготавливаемых (обрабатываемых, ремонтируемых) деталей (сборочных единиц) при выполнении одной операции <u>Примечание.</u> При выполнении процесса перемещения следует указывать объем грузовой единицы — количество деталей в таре
27	ОП	Б	Объем производственной партии и штуках. На стадиях разработки предварительного проекта и опытного образца допускается графу не заполнять
28	К шт.	Б	Коэффициент штучного времени при многостаночном обслуживании
29	Т пз.	Б	Норма подготовительно-заключительного времени на операцию
30	Т шт.	Б	Норма штучного времени на операцию
31	Наименование детали, сб. единицы	К, М	Наименование деталей, сборочных единиц, материалов, применяемых при выполнении операции
32	Обозначение, код	К, М	Обозначение деталей, сборочных единиц по конструкторскому документу или материалов по классификатору
33	ОПП	К, М	Обозначение подразделения (склада, кладовой и т. п.), откуда поступают комплектующие детали, сборочные единицы или материалы; при разборке — куда поступают
34	КИ	К, М	Количество деталей, сборочных единиц, применяемых при сборке изделия; при разборке — количество получаемых



ГОСТ 3 1116-82															Форма 1																		
Д.р.б.																																	
Взам.																																	
Повел.																																	
															2	1																	
Разреш.				А3/ЛК				АБВГ ХХХХХХ ХХХ				ХХХХХХ ХХХХХХХХ				АБВГ 10101. 11423																	
Н.к.д.				Ш т а к											01																		
М 01 Круг В22 ГОСТ 2590-71/45 ГОСТ 1050-74																																	
Код		ЕВ		МД		ЕН		Н расх		К.И.М		Код загот		Профил и размеры		КД		МЗ															
М 02		ХХХХХХ ХХХХ		166		2 984		1		3 180		0,89		ХХХХХХ ХХХХ		Круг 27 * 125		1		3,150													
А		Цвк		Уч		РМ		Опер		Код, наименование операции		Обозначение документа																					
Б										Код, наименование оборудования		СМ		Проф		Р		ЧТ		КР		К.И.Д		ЕН		ДП		К.И.Т		Т.п.з		Т.ц.т	
А 03		01		02		—		005		ХХХХ		Отрезная		25006 01551,																			
Б 04		АБВГ		ХХХХХХ		ХХХ		ВАБ41А				2		ХХХХХ		ХХХ		ХХХХХ		1		1		1		100		1		0,24		0,58	
О 05		Отрезать заготовку L - 125 ± 0,5																															
Т 06		АБВГ ХХХХХХ ХХХ тиски, АБВГ ХХХХХХ ХХХ пила, ХХХХХХ ХХХ шаблон																															
07																																	
А 08		12		01		—		010		ХХХХ		Токарная		25140 00145,																			
Б 09		АБВГ		ХХХХХХ		ХХХ		1К62				2		ХХХХХ		ХХХ		ХХХХХ		1		1		1		100		1		0,46		1,54	
О 10		Точить поверхности с подрезкой торца, выдерживая размеры 70 - 0,23, 15 - 0,74, 40 * 0,2 122 ± 0,6																															
Т 11		АБВГ ХХХХХХ ХХХ резец подрезной, АБВГ ХХХХХХ ХХХ скоба, ШЦ Д 250 0,05																															
12																																	
А 13		12		02		—		015		ХХХХ		Токарная		25140 00145,																			
Б 14		АБВГ		ХХХХХХ		ХХХ		1К62				2		ХХХХХ		ХХХ		ХХХХХ		1		1		1		100		1		0,52		1,44	
О 15		Точить поверхности с подрезкой торца, выдерживая D - 72 - 0,28 и L - 120 - 0,22																															
Т 16		АБВГ ХХХХХХ ХХХ резец подрезной АБВГ ХХХХХХ ХХХ скоба, АБВГ ХХХХХХ ХХХ шаблон																															
М.к.																																	

Рисунок 16 – Пример оформления маршрутной карты на единичный технологический процесс (маршрутного описания) обработки резанием

ГОСТ 3 1118-82      Форма 1

По ГОСТ 3 1103-82      По ГОСТ 3 1103-82      По ГОСТ 3 1103-82

По ГОСТ 3 1103-82

По ГОСТ 3 1103-82      По ГОСТ 3 1103-82

1	2											13	8,5	4,25					
МВ1		Код	FB	MD	EN	Н расх	КИМ	Код загот	Профиль и размеры		КД	МЗ							
МВ2		3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	8,5						
А		Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции		Обозначение документа											
Б		Код, наименование оборудования						ГМ	Проф	Р	ЧТ	КР	Колд	ЕН	ОП	Конт	Т л з	Т шт	
А 03		14	15	16	17	18	19												
Б 04		20							21	22	23	24	25	26	6	27	28	29	30
05																			
06																			
07																			
08																			
09																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			

По ГОСТ 3 1103-82

297

14 x 8,5 = 119

Рисунок 17 Маршрутная карта (первый или заглавный лист)

ГОСТ 3 1103-82 Форма 1а

По ГОСТ 3 1103-82

Цех Уч РМ Опер Код наименования операции										Обозначения документов										
Код, наименование оборудования										СМ	Проф	Р	ЧТ	КР	КВИЛ	ЛН	ВН	Карт	Тех	Тех
Наименование детали, ее единицы или материала										Обозначение, код					ППП	ЛН	ЛН	КН	Прок	
1	14	15	16	17	18	19														
А01	20						21	22	23	24	25	26	6	27	28	29	30			
Б02	31						32						33	4	5	34	7			
К03																				
04																				
05																				
06																				
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				

По ГОСТ 3 1103-82

По ГОСТ 3 1103-82

297

19 x 0,5 - 161,5

5,5

5,5

210

25

25

175

Рисунок 18— Маршрутная карта (оборотная сторона)

ГОСТ 3 1103-82      Форма 16

По ГОСТ 3 1103-82										По ГОСТ 3 1103-82										По ГОСТ 3 1103-82									
По ГОСТ 3 1103-82																													
По ГОСТ 3 1103-82															По ГОСТ 3 1103-82														
A	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции					Обозначения документа																			
B					Код, наименование оборудования					СМ	Пров	Р	УГ	КР	ЧМД	ЕН	ОП	Хш	Т.л.з	Т.шт									
K/M	Наименование детали, с/б единицы или материала					Обозначение, код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н расх														
I	14	15	16	17	18	19																							
A01																													
B02	20					21	22	23	24	25	26	27	28	29	30														
K03	31										33	34	35	36	37														
O4																													
O5																													
O6																													
O7																													
O8																													
O9																													
10																													
11																													
12																													
13																													
14																													
15																													
16																													
17																													
По ГОСТ 3 1103-82																													

297

210

4,25  
3 × 4,25 = 12,75  
17 × 8,5 = 144,5

5,5

5,5

Рисунок 19 – Маршрутная карта (последующие листы)

**Практическое занятие 8. Тема: Оформление актов дефектации, приемки судна в ремонт.**

Предремонтная дефектация, проводимая в процессе эксплуатации, представляет собой завершающую стадию контроля состояния судна перед ремонтом. Она осуществляется в сроки, обеспечивающие своевременную подготовку судоремонтного производства к ремонту, и предназначена для определения содержания, объема и технологии ремонта, составления или уточнения на этой основе ремонтных ведомостей. По результатам дефектации составляется акт дефектации.

Предремонтная дефектация завершается, как правило, составлением актов дефектации с приложением таблиц с результатами, технологических документов и ремонтных ведомостей. Эти документы согласовываются с Регистром. После согласования документация направляется судовладельцу, на СРЗ и в Регистр.

**АКТ  
дефектации механизмов судна**

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

(место проведения дефектации)

Наименование судна \_\_\_\_\_

Номер проекта \_\_\_\_\_

Судовладелец \_\_\_\_\_

Мы, ниже подписавшиеся, \_\_\_\_\_

(фамилии, и. о., должности)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

провели дефектацию механизмов.

В результате ознакомления с документами осмотра, испытания в действии и измерения параметров механизмов установлено следующее: год, место и порядковый № последнего среднего ремонта

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Техническое состояние механизмов:

по предыдущему акту освидетельствования (перед дефектацией) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

по результатам дефектации \_\_\_\_\_

Дефекты, подлежащие устранению, и способы ремонта

	Наименование механизмов	Наименование деталей и выявленные дефекты	Способ ремонта

**Заключение**

*Приложения:* таблица контроля деталей двигателя, таблица контроля деталей передачи, таблица контроля узлов и деталей валопровода, эскизы дефектов

Подписи \_\_\_\_\_

---

### Заключение эксперта Речного Регистра

В соответствии с результатами дефектации механизмов техническое состояние признается \_\_\_\_\_

Объем ремонтных работ, определенных при дефектации, согласовывается. Дополнительные требования \_\_\_\_\_

Эксперт \_\_\_\_\_

филиала Речного Регистра

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(фамилия, и., о.)

После приведения судна в зимовочное состояние представитель предприятия исполнителя ремонта принимает его на ремонт с оформлением акта. Сдачу судна осуществляет капитан (командир, шкипер).

Начало ремонта исчисляется со дня, следующего за днем подписания акта приемки судна в ремонт.

С момента подписания акта приемки судна на ремонт ответственность за безопасность судна и сохранность всех его частей несет предприятие-исполнитель ремонта.

АКТ  
приемки судна в ремонт

\_\_\_\_\_  
(номер проекта, тип и наименование судна)

\_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_ г.

Мы, нижеподписавшиеся: капитан \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы)

шкипер \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы)

и представитель \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(наименование предприятия-владельца судна,

\_\_\_\_\_  
должность, фамилия и инициалы)

и представитель \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(наименование предприятия-исполнителя ремонта)



(должность, фамилия и инициалы)  
действующие по приказу N \_\_\_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 19\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
(должность лица, подписавшего приказ)  
произвели осмотр указанного выше судна, для определения его  
готовности к ремонту с зимовкой \_\_\_\_\_  
(условия зимовки: на плаву,  
слипа и т.п.)

При этом установлено, что судно приведено в зимовочное  
состояние в соответствии с требованиями п. 6.2 "Правил ремонта судов  
Министерства транспорта Республики Беларусь" и "Правил пожарной  
безопасности на судах":

1. Заборные отверстия утеплены \_\_\_\_\_  
(способ утепления)
2. Топливные и масляные цистерны зачищены \_\_\_\_\_  
(характер зачистки)
3. Трюмы (для танкеров - грузовые танки) зачищены \_\_\_\_\_

- 
- \_\_\_\_\_  
(характер зачистки)
4. Техническая документация для производства ремонта передана:

Вид ремонта или работ

Вид документа

5. Судовой инвентарь и оборудование согласно описи сданы на  
склад предприятия-исполнителя ремонта.

6. Судовой инвентарь, оставшийся на судне, складирован в  
помещениях

\_\_\_\_\_  
(наименование помещений)

- 
- \_\_\_\_\_  
которые опломбированы.
7. Особые замечания \_\_\_\_\_

На основании изложенного судно считается принятым на ремонт.

С момента подписания настоящего Акта ответственность за  
безопасность и охрану судна несет предприятие \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(наименование предприятия)

\_\_\_\_\_  
Опись оборудования и инвентаря, принятого на склад предприятия на

\_\_\_\_\_ листах.  
Судно сдали:  
Капитан (скипер) \_\_\_\_\_  
(подпись)  
Судно приняли:  
Представитель предприятия-исполнителя ремонта \_\_\_\_\_  
(подпись)

### **Практическое занятие 9. Тема: Оформление договора на ремонт судна.**

Договоры на ремонт судов заключаются между предприятием-владельцем флота (заказчиком) и предприятием-исполнителем ремонта (подрядчиком) на основании утвержденных в установленном порядке ремонтных ведомостей.

Заказчик передает подрядчику суда в защищенном и подготовленном к ремонту состоянии согласно настоящим Правилам.

Подрядчик выполняет работы, обусловленные прилагаемой к договору документацией, и несет ответственность за сроки и качество выполнения всех работ, производимых как им самим, так и субподрядчиком.

Ответственность за сохранность судов во время ремонта несет подрядчик.

Договоры на производство ремонта заключаются в сроки:

- на текущий ремонт - не позднее 15 дней после постановки судна на ремонт;
- на средний ремонт - не позднее 30 дней после постановки судна на ремонт;
- на восстановительный ремонт (модернизацию или переоборудование) и на подготовительные работы к нему - не позднее чем за 3 месяца до начала ремонта.

Сроки начала и окончания ремонта определяются графиками, утвержденными руководством судовладельца по согласованию с исполнителем ремонт.

### **ДОГОВОР ПОДРЯДА №**

г. Пинск

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 г.

РТУП «Белорусское речное пароходство », именуемое в дальнейшем «Заказчик», в лице генерального директора \_\_\_\_\_, действующего на основании Устава, с одной стороны, и ОАО «Пинский ССРЗ», именуемое в дальнейшем «Подрядчик», в лице \_\_\_\_\_, действующего на основании Устава, с другой стороны, заключили настоящий Договор о нижеследующем:

### **1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА**

**1.1.** Подрядчик обязуется по заданию Заказчика выполнить работы по ремонту \_\_\_\_\_ «\_\_\_\_\_» (далее – «Судно»), а Заказчик обязуется принять результат работ и оплатить его.

**1.2.** Перечень и объемы Работ приведены в смете-ведомости, прилагаемой к настоящему Договору (Приложение № 1).

**1.3.** Все старое снятое Оборудование и материалы являются собственностью судовладельца.

**1.4.** Работы, предусмотренные договором, выполняются Подрядчиком в период стоянки Судна в порту \_\_\_\_\_.

**1.5.** Все используемые Подрядчиком для выполнения работ сменно-запасные части, узлы, механизмы и другое имущество (далее – СЗЧ) должны быть новыми и ранее не использованными, а также быть свободными от любых прав и притязаний на них третьих лиц.

## **2. ПРАВА И ОБЯЗАННОСТИ СТОРОН**

**2.1.** Подрядчик обязуется выполнить все Работы в соответствии с требованиями РМРС (РРР), ведомственными ТУ и международными стандартами.

**2.2.** Если при приемке Работ будет обнаружено несоответствие выполненных Работ техническим требованиям, Подрядчик обязан по требованию Заказчика устранить брак за свой счет в течение 10 (десяти) дней.

**2.3.** Подрядчик вправе с согласия Заказчика привлекать к выполнению Работ субподрядчиков. Ответственность за качество выполненных субподрядчиком Работ, соблюдение им действующих норм и правил несет Подрядчик.

**2.4.** Заказчик имеет право проверять соответствие Работ техническим требованиям без вмешательства в оперативно-хозяйственную деятельность Подрядчика. Для технического надзора, согласования и решения всех прочих вопросов Заказчик назначает своего представителя.

**2.5.** Заказчик обязуется своевременно ставить в известность Подрядчика обо всех изменениях согласованного в смете-ведомости перечня Работ, в противном случае переделки производятся за счет Заказчика. В случае необходимости изменения согласованного в смете-ведомости перечня Работ по каким-либо причинам, Подрядчик обязуется своевременно ставить в известность Заказчика обо всех таких изменениях, в противном случае переделки производятся за счет Подрядчика. Демонтаж/монтаж, ремонт ответственных деталей и механизмов производится только после согласования с Заказчиком технологии на ремонт.

**2.6.** При проведении огневых работ Подрядчик обеспечивает подготовку рабочих мест и контроль за соблюдением пожарной безопасности в соответствии с действующими нормативными документами. Перед началом проведения огневых работ Подрядчик и Заказчик согласовывают план привлечения сил и средств для тушения пожаров на судне.

Подрядчик обязан проводить расследование несчастных случаев, произошедших с работниками Подрядчика на территории Заказчика, оформлять акты формы Н-1 и другие документы по расследованию несчастных случаев на производстве (протоколы измерений параметров опасных и вредных

производственных факторов, оценки оборудования по фактору травмобезопасности, сертификация работ по охране труда и др.), в соответствии с установленными законодательством сроками.

**2.7.** При постановке судна к месту проведения работ, Подрядчик проводит совместные, с экипажем Судна, учения по ликвидации пожара.

**2.8.** Перестановка судна к месту проведения работ и наоборот находится на ответственности Заказчика. Дальнейшие перестановки судна, включая ввод и вывод из дока, для обеспечения технологического процесса находятся на ответственности Подрядчика, включая буксиры, швартовные бригады, лоцманов.

**2.9** Подрядчик не препятствует выполнению работ на борту судна другим Подрядчикам, работающим по Договорам и заявкам Заказчика.

**2.10.** В случае необходимости проведения дополнительных работ, Подрядчик в течение одного рабочего дня с момента выявления такой необходимости уведомляет об этом Заказчика.

**2.11.** Сдача и приемка выполненных Работ осуществляются с составлением Подрядчиком акта выполненных Работ. Акт выполненных работ передается Подрядчиком Заказчику вместе со счётом и счетом-фактурой в течение 3(трех) рабочих дней со дня его подписания. Указанные в настоящем пункте документы передаются Заказчику через канцелярию РТУП «Белорусское речное пароходство». К акту сдачи приемки выполненных работ прилагаются и передаются, согласованные с Заказчиком акты дефектации, технологические указания на ремонт, отчеты, акты ОТК, сертификаты на используемые материалы, технические паспорта на изделия. Если акт выполненных работ не оформлен должным образом Подрядчиком, он возвращается Подрядчику для устранения замечаний.

**2.12.** Заказчик обязан в течение 5 (пяти) рабочих дней со дня получения от Подрядчика акта выполненных работ подписать его или дать мотивированный отказ от приемки Работ.

**2.13.** В случае нарушения сроков предоставления документов, указанных в п. 2.11. и/или предоставления ненадлежащим образом оформленных документов, Заказчик оставляет за собой право в одностороннем порядке изменять срок оплаты работ, указанный в п. 3.5. настоящего Договора.

### **3. СТОИМОСТЬ РАБОТ И ПОРЯДОК РАСЧЕТОВ**

**3.1.** Стоимость поручаемых Подрядчику Работ определена на основании утвержденной Заказчиком предварительной сметы-ведомости Работ (Приложение № 1) и составляет \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) рублей \_\_\_\_\_ копеек, в том числе НДС 18% - \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) рублей \_\_\_\_\_ копейки.

**3.2.** В указанную в п.3.1. Договора стоимость выполняемых Подрядчиком работ включены все уплачиваемые Подрядчиком налоги, таможенные и иные обязательные платежи, а также все расходы Подрядчика, связанные с исполнением настоящего Договора и причитающееся ему вознаграждение.

**3.3.** Заказчик производит авансовый платеж в размере \_ % от договорной стоимости ремонта на сумму \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

рублей \_\_\_\_\_ копеек, в том числе НДС 18% - \_\_\_\_\_  
(\_\_\_\_\_) рублей \_\_\_\_\_ копеек., путем перечисления денежных средств на расчетный счет Подрядчика в течение 10 (десяти) банковских дней с даты получения Заказчиком счета на оплату. В случае непредоставления оригинала счета в течение одного дня с момента заключения Договора Заказчик оставляет за собой право в одностороннем порядке изменять срок оплаты авансового платежа.

**3.4.** Стоимость работ по настоящему Договору может быть изменена сторонами по результатам дефектации, проведенной Подрядчиком, на основании актов дефектации, подписанных представителями Заказчика и Подрядчика, а также при дополнительных работах, выполняемых по заданию Заказчика.

Дефектация узлов и механизмов, указанных в приложении № 1 к настоящему Договору, должна быть проведена Подрядчиком в течение первой трети договорного срока выполнения Работ.

Любые работы, выполненные Подрядчиком без предварительного согласования с Заказчиком, оплате не подлежат.

**3.5.** Окончательный расчет, за вычетом авансового платежа, производится Заказчиком в течение 20 (двадцати) банковских дней с даты получения Заказчиком счета на оплату на основании итогового Акта выполненных работ, подписанного Сторонами, Акта приемки судна из ремонта по форме №ОС-3 и счета-фактуры Подрядчика. Итоговая смета-ведомость составляется на основе итогового Акта выполненных работ и является неотъемлемой частью настоящего договора.

#### **4. СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ**

**4.1.** Все работы по настоящему Договору должны быть выполнены в период с «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г. по «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г. По согласованию сторон допускаются досрочные начало и сдача результатов выполненных Работ.

Постановка Судна на ремонт должна быть осуществлена Подрядчиком в срок не позднее «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Срок выполнения работы- \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) дней со дня постановки судна на ремонт.

**4.2.** Началом работ считается дата подписания представителями Заказчика и Подрядчика акта приёмки Судна в ремонт.

**4.3.** Окончанием работ считается дата подписания представителями Заказчика и Подрядчика Акта приёмки Судна из ремонта по форме №ОС-3.

#### **5. ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

**5.1.** Подрядчик обязуется по окончании Работ провести проверку результатов выполненных работ в соответствии с требованиями РМРС.

**5.2.** Подрядчик несет ответственность за качество выполненных Работ в течение 12 (двенадцати) месяцев (на отдельные работы, отдельные механизмы и узлы, на которые есть гарантия изготовителя – не менее их срока) с момента подписания акта приёмки Судна из ремонта в соответствии с п. 4.3. настоящего Договора.

**5.3.** Если в течение гарантийного срока при нормальной эксплуатации, Заказчиком будут выявлены дефекты, проявившиеся в результате низкого качества

выполненных Работ и/или низкого качества используемых в работе материалов, Подрядчик по требованию Заказчика обязан устранить дефекты за свой счет в течение 7 (семи) дней с момента получения такого требования.

**5.4.** Устранение дефектов, выявленных Заказчиком в течение гарантийного срока, может по желанию Заказчика осуществляться на другой судоремонтной верфи, при этом Подрядчик обязан в срок не позднее пяти дней со дня предъявления требования Заказчиком возместить последнему стоимость ремонтных работ, связанных с устранением выявленных дефектов (недостатков), в т.ч. стоимость сменно-запасных частей. Возмещение Подрядчиком Заказчику расходов, связанных с устранением дефектов, производится на основании представленных Заказчиком Подрядчику документов, подтверждающих обоснованность произведенных расходов.

**5.5.** Рекламации на выявленные дефекты предъявляются Подрядчику в письменном виде с указанием времени и места обнаружения дефекта.

**5.6.** Используемые Заказчиком/Подрядчиком СЗЧ, узлы, механизмы и другое имущество (включая используемое для ремонта) должны быть одобрены Регистром, в случаях, когда такое одобрение необходимо согласно действующим Правилам Регистра.

**5.7.** На все поставляемые Заказчиком/Подрядчиком СЗЧ, узлы, механизмы и другое имущество (включая используемые для ремонта), подлежащие обязательной сертификации в соответствии с законодательством Российской Федерации должны иметься соответствующие сертификаты.

**5.8.** Все работы должны выполняться в соответствии с установленными Регистром Правилами.

**5.9.** Все оборудование, узлы и механизмы, заменяемые или вновь устанавливаемые во время ремонта на Судне, должны быть совместимы с имеющимся на нем оборудованием, коммуникациями и т.п.

## **6. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТОРОН**

**6.1.** Подрядчик гарантирует качество используемых для ремонта СЗЧ, узлов и механизмов и наличие одобрения классификационного общества в случаях, когда такое одобрение необходимо по действующим Правилам РМРС.

**6.2.** За нарушение принятых по настоящему Договору обязательств, Стороны несут ответственность в соответствии с действующим законодательством РФ.

**6.3.** В случае нарушения сроков выполнения работ, Заказчик вправе потребовать от Подрядчика уплаты пени в размере 0,1% от общей стоимости работ за каждый день просрочки.

**6.4.** Стороны освобождаются от ответственности за нарушение обязательств, вытекающих из настоящего договора, если такое нарушение явилось следствием обстоятельств непреодолимой силы, т.е. чрезвычайных и непредотвратимых при данных условиях обстоятельств, препятствующих или делающих невозможным надлежащее исполнение обязательств.

**6.5.** Обстоятельства форс-мажор должны быть подтверждены справкой компетентных органов.

**6.6.** О наличии форс-мажорных обстоятельств сторона, подвергшаяся их воздействию, обязана в течение 24 часов уведомить другую сторону, иначе сторона, подвергшаяся воздействию подобных обстоятельств, лишается права на эту ссылку при неисполнении настоящего Договора.

**6.7.** В случае наступления форс-мажорных обстоятельств, действие настоящего Договора продлевается на срок действия указанных обстоятельств.

**6.8.** В случае непредставления Подрядчиком надлежащим образом оформленных документов, в количестве и в срок, указанные в п. 2.11. настоящего Договора, Заказчик имеет право требовать с Подрядчика уплаты штрафа в размере 2% от общей стоимости Работ.

## **7. ИСПЫТАНИЯ**

**7.1.** Швартовые и ходовые испытания производятся по программе, подготовленной Подрядчиком и согласованной с РМРС.

**7.2.** Подрядчик обеспечивает присутствие своих представителей при испытаниях за свой счёт.

**7.3.** Если при проведении испытаний будут выявлены какие-либо дефекты в выполненных работах, Подрядчик устраняет эти дефекты за свой счёт и, при необходимости, за свой счёт проводит повторные испытания и выплачивает Заказчику пени в соответствии с п. 6.3. настоящего Договора. Пеня подлежит оплате при наличии письменного требования Заказчика.

## **8. ПРОЧИЕ УСЛОВИЯ**

**8.1.** Настоящий договор вступает в силу со дня подписания его Сторонами и заканчивает своё действие по выполнении Сторонами всех принятых на себя обязательств.

**8.2.** Договор может быть расторгнут при обоюдном согласии Сторон. Согласованию подлежат сроки прекращения работ и условия компенсаций затрат Сторон, возникающих от расторжения Договора.

**8.3.** В случае существенного нарушения одной из Сторон обязательств по Договору, другая Сторона вправе в одностороннем порядке расторгнуть Договор, предупредив об этом другую Сторону за 10 (десять) дней в письменном виде.

**8.4.** Изменение условий Договора возможно только с обоюдного согласия Сторон и оформляется дополнительным соглашением.

**8.5.** Все споры и разногласия, которые могут возникнуть при исполнении настоящего Договора, решаются Сторонами путем переговоров, после письменного уведомления одной из Сторон о существовании подобного рода разногласий.

**8.6.** В случае если Сторонам не удастся прийти к соглашению по спорным вопросам, дело будет разрешаться в Арбитражном суде г. Минска.

**8.7.** Во всём, что не предусмотрено настоящим Договором, Стороны руководствуются действующим законодательством Республики Беларусь.

**8.8.** Настоящий Договор составлен в 2-х экземплярах, имеющих одинаковую юридическую силу, по одному экземпляру для каждой из Сторон.

## **9. ЮРИДИЧЕСКИЕ АДРЕСА, РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН**

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. С какой целью заключается договор?
2. Между кем происходит заключение договора?
3. Сроки заключения договора на ремонт судна?

### **Практическое занятие 10. Тема: Оформление актов приемки судна в техническую готовность, в эксплуатационную готовность.**

Для речных транспортных судов установлено две стадии приемки. Первая стадия — приемка судна по технической готовности в зимний период, когда все работы (за исключением весенних) по ремонтной ведомости выполнены. Вторая стадия — приемка судна в эксплуатацию к моменту открытия навигации.

Предусматривается предварительная приемка в зимних условиях:

- судов всех типов - в техническую готовность;
- несамоходных судов без энергетических установок и без весенних работ - в эксплуатационную готовность.

Приемка судов в техническую готовность производится после окончания всех ремонтных и модернизационных работ. Исключение могут составлять работы, выполнение которых в зимний период невозможно по климатическим условиям.

Приемка несамоходных судов в эксплуатационную готовность в зимних условиях производится при условии выполнения работ и укомплектовании их инвентарем, такелажем, запасными частями и навигационным снабжением.

Списки несамоходных судов, подлежащих приемке в эксплуатационную готовность в зимних условиях, и графики приемки составляются предприятиями-владельцами судов.

Приемка судов в техническую и эксплуатационную готовность производится комиссиями: сдаточной и приемочной, которые назначаются предприятиями- владельцами судов и оформляются актом по приведенным формам.



**АКТ**  
**приемки судна в техническую готовность**  
(для несамостоятельных судов - в эксплуатационную готовность)

\_\_\_\_\_  
(номер проекта, тип и название судна)  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
(пункт ремонта)  
Мы, нижеподписавшиеся, члены комиссии в составе:  
председатель: \_\_\_\_\_  
(должность, И.О.Фамилия)  
члены \_\_\_\_\_,  
(И.О.Фамилия) (И.О.Фамилия)  
действующие на основании \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(N и дата распоряжения)  
произвели проверку качества и объема выполненного ремонта и  
готовности судна в зимних условиях после \_\_\_\_\_ ремонта.  
(вид ремонта)  
Качество выполненных работ \_\_\_\_\_  
(оценка качества)  
Особые замечания \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
На основании результатов осмотра комиссия считает судно  
принятым в техническую готовность.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_  
(подпись)

Члены комиссии \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

**АКТ**  
**приемки несамостоятельного судна в эксплуатацию**

\_\_\_\_\_  
(номер проекта, тип и наименование судна, пункт ремонта)  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_ г.

Мы, нижеподписавшиеся, члены приемочной комиссии, действующие  
на основании приказа \_\_\_\_\_  
(N приказа и наименование предприятия)

в составе: председателя \_\_\_\_\_  
(должность, И.О.Фамилия)

членов комиссии: шкипера \_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

и членов сдаточной комиссии от \_\_\_\_\_  
(наименование предприятия-исполнителя  
ремонта)

в составе: \_\_\_\_\_  
(должность, И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

произвели проверку качества и объема выполненного \_\_\_\_\_  
(вид ремонта)

ремонта.

1. Оценка качества ремонта и технического состояния судна по  
элементам:

Элементы судна	Оценка качества ремонта	Оценка технического состояния	
		До ремонта	После ремонта
Корпус			
а) палуба			
б) обшивка			
в) набор			
Судовые устройства			
а) рулевое			
б) якорное			
в) швартовное и буксирное			
Системы			
а)			
б)			
в)			
Надстройки			

2. Оценка качества ремонта в целом по судну \_\_\_\_\_

3. Оценка технического состояния судна (после ремонта) в целом \_\_\_\_\_

4. В числе выполненных ремонтных работ произведены следующие

крупные работы \_\_\_\_\_

5. Судно полностью обеспечено необходимым инвентарем, такелажем, навигационным снабжением и запасными частями по действующим нормам \_\_\_\_\_

6. Судно осматривалось (в каких условиях) \_\_\_\_\_

7. На основании результатов осмотра и проверки комиссия считает судно полностью подготовленным к эксплуатации \_\_\_\_\_

(указывается с какого времени)

8. Потребность в слиповании \_\_\_\_\_

9. Особые замечания \_\_\_\_\_

Сдали:

Приняли:

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Председатель комиссии \_\_\_\_\_  
(подпись) (подпись)

Члены комиссии \_\_\_\_\_ Члены комиссии \_\_\_\_\_  
(подпись) (подпись)

### **Практическое занятие 11. Тема: Оформление акта сдачи судна в эксплуатацию.**

Приемка судов в эксплуатационную готовность производится комиссиями: сдаточной и приемочной, которые назначаются предприятиями-владельцами судов и оформляются актом.

После среднего ремонта приемку судна осуществляет комиссия, назначенная предприятием-владельцем судна, сдачу производит комиссия, назначенная предприятием-исполнителем ремонта.

Приемка самоходных судов в эксплуатацию предусматривает проведение приемосдаточных испытаний, включающих проверку и испытание отремонтированных механизмов, оборудования, устройств и приемку судна из ремонта. Одновременно с приемосдаточными испытаниями проверяется готовность судна к эксплуатации и обеспеченность его необходимым инвентарем, запасными частями, навигационным снабжением.

**АКТ**  
**приемки в эксплуатацию из ремонта самоходного судна и**  
**других судов с энергетическим оборудованием**  
**(для судов внутреннего плавания)**

(номер проекта, тип и наименование судна, пункт ремонта)

"\_\_" "\_\_" 19\_\_ г.

Мы, нижеподписавшиеся, члены приемочной комиссии, действующие на основании приказа \_\_\_\_\_

(N приказа и наименование предприятия)

в составе: председателя \_\_\_\_\_

(должность, И.О.Фамилия)

членов комиссии: шкипера \_\_\_\_\_

(И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

и членов сдаточной комиссии от \_\_\_\_\_

(наименование предприятия-исполнителя

ремонта)

в составе: \_\_\_\_\_

(должность, И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

произвели проверку качества и объема выполненного \_\_\_\_\_

(вид ремонта)

ремонта.

1. Оценка качества ремонта и технического состояния судна по элементам:

Элементы судна	Оценка качества ремонта	Оценка технического состояния		
		до ремонта	после ремонта	
Корпус				
а) палуба				
б) обшивка				
в) набор				
Судовые устройства				
а) рулевое				
б) якорное				

в) швартовое и буксирное				
-----------------------------	--	--	--	--

1. В процессе ремонта судна выполнены работы:

Вид работы	Наименование документации	Кем и когда утверждена документация

2. Перечень отступлений от технической документации (форма М.2.1)

3. Качество ремонта по основным элементам судна:

Элементы судна	Оценка качества работы	Примечание	
Корпус			
Надстройка			
Судовые устройства			
Главные двигатели			
ДАУ			
Вспомогательные механизмы машинного отделения			
Палубные механизмы			
Движители			
Судовые системы			
Электрооборудование			
Средства связи и электрорадионавигации			
Специальные устройства			

4. Качество ремонта по судну в целом \_\_\_\_\_

(оценка качества)

5. В соответствии с руководящими документами Минтранса Беларуси, правилами Регистра, санитарными правилами для речных

судов, руководящими документами судовладельца по наличию, состоянию и срокам подлежат проверке документация, оборудование и помещения:

Наименование	Наличие, состояние, сроки, замечания	
Судовые документы и документы Регистра		
Технические формуляры и паспорта механизмов, систем, аппаратуры связи и электрорадионавигации, штурманских приборов		
Техническая и общесудовая документация и делопроизводство		
Штурманская документация, поправки штурманских и электрорадионавигационных приборов		
Таблицы сигналопроизводства, маневренных элементов и девиации магнитных компасов и радиопеленгаторов		
Навигационные карты и пособия, их корректура		
Судовые расписания по заведованиям и по тревогам, личные карточки, отработанность действий		
Укомплектованность штатами, дипломы, свидетельства		
Закрытие трюмов, люков, лазов, а также двери, иллюминаторы и другие отверстия в палубных и водонепроницаемых переборках		
Окраска и маркировка		
Спасательное оборудование и снабжение		
Общесудовое снабжение и ЗИП к механизмам, системам, аппаратуре связи и электрорадионавигации		
Помещения:		
служебные		
бытовые		
жилые		

Наименование	Наличие, состояние, сроки, замечания	
Судовые документы и документы Регистра		
Технические формуляры и паспорта механизмов, систем, аппаратуры связи и электрорадионавигации, штурманских приборов		
Техническая и общесудовая документация и делопроизводство		
Штурманская документация, поправки штурманских и электрорадионавигационных приборов		
Таблицы сигналопроизводства, маневренных элементов и девиации магнитных компасов и радиопеленгаторов		
Навигационные карты и пособия, их корректура		
Судовые расписания по заведованиям и по тревогам, личные карточки, отработанность действий		
Укомплектованность штатами, дипломы, свидетельства		
Закрытие трюмов, люков, лазов, а также двери, иллюминаторы и другие отверстия в палубных и водонепроницаемых переборках		
Окраска и маркировка		
Спасательное оборудование и снабжение		
Общесудовое снабжение и ЗИП к механизмам, системам, аппаратуре связи и электрорадионавигации		
Помещения:		
служебные		
бытовые		
жилые		

6. Техническое состояние судна по элементам (по оценке

инспекции Регистра)

Элементы судна	Техническое состояние судна		
	до ремонта	после ремонта	
Корпус			
Надстройки			
Механизмы			
Электрооборудование			
По судну в целом			

7. Судно полностью обеспечено спасательными и сигнальными средствами, навигационными приборами, инструментами, буксирными и швартовными тросами, запасом аварийного инструмента, противопожарным снабжением и материалами по действующим нормам.

8. На судно передана отчетная документация по ремонту:

\_\_\_\_\_  
(наименование документа)

9. На судно выданы запасные части, инструменты и инвентарь, подлежащие занесению в инвентарную книгу, согласно описи снабжения (форма М.2.2).

10. На основании результатов осмотра, проверки и испытаний установлено, что судно \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(тип и наименование судна)

полностью подготовлено к эксплуатации с " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 19\_\_ г.

С момента подписания настоящего Акта судно переходит под ответственность капитана (командира) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(наименование предприятия-исполнителя ремонта)

несет ответственность за качество выполненных работ в соответствии с Правилами ремонта судов Минтранса Беларуси. По судам, прошедшим средний и восстановительный ремонт, предприятие-исполнитель ремонта гарантирует качество выполненных им работ в течение шести полных навигационных месяцев и обязано в технически возможно короткий срок за свой счет исправить недостатки, повреждения и поломки, вызванные недоброкачественным производством работ, применением несоответствующих или некачественных материалов, изделий и оборудования.

В предстоящий судоремонт на судне необходимо выполнить

\_\_\_\_\_ ремонт.

(вид ремонта)

Особые замечания комиссии \_\_\_\_\_

Приняли:

Председатель комиссии: \_\_\_\_\_

Члены комиссии \_\_\_\_\_

Сдали:

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

Члены комиссии \_\_\_\_\_



## **РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ**

### **Экзаменационные вопросы по дисциплине «Технология обслуживания, ремонта и консервация судов» для специальности 1-37 03 02**

1. Закономерности старения и изнашивания машин, скорость изнашивания.
2. Методы количественной оценки износов.
3. Основные показатели надежности машин и судовых конструкций.
4. Причины образования дефектов. Классификация дефектов.
5. Дефектоскопия. Методы дефектоскопии.
6. Дефектоскопия, основанная на измерениях.
7. Технические средства неразрушающего контроля.
8. Магнитопорошковый метод контроля
9. Ультразвуковой метод контроля.
10. Капиллярные методы контроля.
11. Вихрековый метод контроля.
12. Рентгено- и гаммаграфирование.
13. Надзор за техническим состоянием судна, виды освидетельствования судов.
14. Классификация видов ремонта. Характеристика видов ремонта системы ППР.
15. Модернизация и переоборудование судов. Характеристика неплановых ремонтов.
16. Договоры на судоремонт. Особенности заключения договоров на ремонт судов.
17. Этапы ремонта судов. Подготовка к ремонту судов до постановки их на ремонт.
18. Подготовка к ремонту судов в период и после постановки их на ремонт. Порядок постановки судов на ремонт.
19. Приведение судов в зимовочное состояние.
20. Сдача судов в ремонт, содержание и охрана судов во время ремонта.
21. Проведение ремонта судов и приемка работ.
22. Испытания и приемка судов из ремонта в эксплуатацию.
23. Классификация судоремонтных предприятий. Структура и организация судоремонтного завода.
24. Организация ремонта судна на судоремонтном заводе. Обслуживание судов в период ремонта.
25. Технологическая подготовка судоремонтного производства Особенности технологических процессов в машиноремонте.
26. Единая система технологической подготовки производства. Типизация технологических процессов в машиноремонте.
27. Методы ремонта корпусов судов.
28. Методы ремонта судовых механизмов.

29. Методы и способы восстановления деталей судовых технических средств.
30. Технологическая документация на ремонт и изготовление деталей
31. Способы и сооружения для обнажения подводной части судов при ремонте.
32. Износы корпусных конструкций. Остаточные деформации и повреждения корпусов.
33. Организация дефектации судов при ремонте. Обследование и оценка технического состояния корпусных конструкций.
34. Ремонт корпусов судов заменой связей. Правка судовых конструкций.
35. Ремонт корпусных конструкций подкреплением.
36. Неметаллические покрытия при ремонте корпусов.
37. Антикоррозионная защита корпусов судов при ремонте.
38. Испытания корпусов после ремонта.
39. Технологическая подготовка дизелей к ремонту. Структурная схема технологического процесса капитального ремонта судовых дизелей.
40. Ремонт фундаментных рам судовых дизелей.
41. Ремонт верхних картеров судовых дизелей.
42. Ремонт блоков, моноблоков и крышек цилиндров.
43. Ремонт коленчатых валов. Ремонт коленчатых валов механической обработкой.
44. Ремонт втулок цилиндров. Ремонт поршней.
45. Ремонт шатунов. Ремонт подшипников.
46. Ремонт гребных винтов. Ремонт направляющих насадок.
47. Статическое и динамическое уравнивание гребных винтов после ремонта.
48. Модернизация гребных винтов при ремонте. Сборка винтов и гребных валов при ремонте.
49. Дефектоскопия и ремонт трубопроводов и арматуры. Требования Регистра к системам.
50. Подготовка поверхностей перед консервацией. Подготовка масел и смазок.
51. Технология применения масел и смазок при консервации.
52. Влияние относительной влажности на коррозию. Способы осушения воздуха.
53. Герметизация осушаемых объемов. Подготовка и процесс статического осушения воздуха.
54. Воздухоосушительные установки. Распределение воздуха по судовым помещениям.
55. Особенности консервации материальной части при динамическом осушении воздуха.
56. Получение защитных атмосфер. Применение защитных атмосфер для консервации. Вакуумная установка.
57. Контроль за состоянием оборудования, законсервированного в среде защитных атмосфер.
58. Классификация ингибиторов коррозии.
59. Нелетучие контактные ингибиторы коррозии. Летучие ингибиторы коррозии.
60. Способы применения ингибиторов коррозии.
61. Электрокоррозия и борьба с ней. Сущность электрохимической защиты.
62. Протекторная и катодная защита судовых конструкций.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ


## **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

**Учебная программа дисциплины «Технология обслуживания, ремонта и  
консервация судов»**

Белорусский национальный технический университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
Белорусского национального  
технического университета



А.Г. Баханович

Регистрационный № УД- 93955-44/уч.

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РЕМОНТА И КОНСЕРВАЦИЯ СУДОВ

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности

1-37 03 02 Кораблестроение и техническая эксплуатация водного  
транспорта

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**В.А. Ключников**, доцент кафедры «Кораблестроение и гидравлика» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук;

**М.К. Щербакова**, старший преподаватель кафедры «Кораблестроение и гидравлика» Белорусского национального технического университета

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

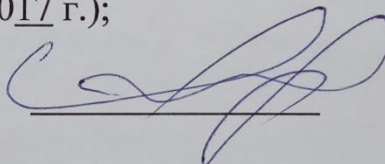
**А.М. Якимович**, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент;

**А.Н. Чернобылец**, начальник Управления морского и речного транспорта Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой «Кораблестроение и гидравлика» Белорусского национального технического университета  
(протокол № 4 от 21 ноября 2017 г.);

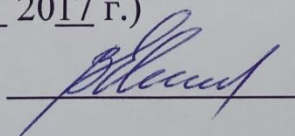
Заведующий кафедрой



И.В. Качанов

Методической комиссией факультета энергетического строительства  
Белорусского национального технического университета  
(протокол № 6 от 27.11 2017 г.)

Председатель методической  
комиссии



В.А. Евдокимов

Научно-методическим советом Белорусского национального технического  
университета (протокол № 3 секции №1 от 16.03 2018 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Технология обслуживания, ремонта и консервация судов» разработана для специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта».

Целью изучения дисциплины является, подготовка студентов в сфере кораблестроения и технической эксплуатации объектов водного транспорта Республики Беларусь; освоение ими методов оценки технического состояния корпуса, механизмов и систем, знание основных принципов технического надзора за состоянием судов, умение ориентироваться в технико-эксплуатационных характеристиках судов, связанных с их классом и назначением, допускаемыми нормами эксплуатации.

Основными задачами учебной дисциплины являются:

- формирование у студентов необходимого объёма знаний о технологических процессах дефектации, ремонтов и техническом обслуживании судов и их основных элементов;
- обеспечение освоения студентами расчётных методов восстановления и подкрепления судовых конструкций;
- формирование у студентов необходимого объёма знаний о содержании и особенностях технологической подготовки судоремонтного производства;
- обеспечение знания студентами средств технологического оснащения, приспособлений и оснастки для реализации различных способов технологии обслуживания, ремонта и консервации судов;
- формирование у студентов необходимого объёма знаний о доковом ремонте судов;
- обеспечение знания студентами вопросов приёмо-сдаточных испытаний судов после выполнения ремонта;
- обеспечение студентов практическими навыками выбора оптимальных методов ремонта, восстановления и консервации судовых конструкций, систем, устройств, энергокомплексов, электрооборудования и автоматики.

Учебная дисциплина базируется на знаниях, полученных при освоении таких дисциплин, как «Введение в инженерное образование», «Математика», «Физика», «Конструкция корпуса», «Судовые устройства и системы». Полученные в процессе освоения дисциплины знания, умения и навыки будут использованы при изучении специальных дисциплин «Технология судостроения», «Техническая эксплуатация судов», «Оборудование судоремонтного производства» и др.

В результате освоения учебной дисциплины «Технология обслуживания, ремонта и консервации судов» студент должен:

**знать:**

- основные положения по технологической подготовке судоремонтного производства;

- научные основы оценки технического состояния конструкций, систем, устройств, энергокомплексов, электрооборудования и автоматики судов;
- основные методы дефектации судов и их элементов;
- сущность технологических процессов обслуживания, ремонта и консервации судов на судоремонтном предприятии;
- технологию испытаний судов и их основных элементов;
- консервацию защитными смазками и маслами;
- консервацию статическим осушением воздуха;
- консервацию динамическим осушением воздуха;
- ингибиторы коррозии;
- методы электрохимической защиты корпусов кораблей;

**уметь:**

- выполнять расчёты и исследования по восстановлению и подкреплению судовых конструкций;
- разрабатывать схемы доковых постановок судов для проведения ремонтных работ;
- рассчитывать параметры технологических процессов обслуживания и ремонтов судов;
- рассчитывать технологические параметры обнажения подводной части судна для ремонта на плаву;
- определять последовательность технологических операций в процессе выполнения ремонтных работ в доковых условиях и в условиях проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту на плаву;
- определять причину отказа в работе узлов и механизмов судна, электрооборудования и автоматики;
- определять вид ремонта, необходимого для восстановления работоспособности узлов, механизмов и систем судна;
- определять причину отказа силовой установки судна;
- определять вид ремонта, необходимого для восстановления работоспособности силовой установки судна.
- выбирать оптимальные материалы и составы для подготовки поверхностей и нанесения защитных смазок;
- выбирать состав, рассчитывать количество адсорбента-поглотителя и время его восстановления;
- выбирать состав и определять необходимую концентрацию ингибитора;
- выбирать метод электрохимической защиты и определять величину напряжения источника тока.

**владеть:**

- навыками подбора и изучения литературных и других информационных источников, использования прогнозов развития судовой техники, их подсистем, смежных отраслей науки и техники в части, касающейся технологии организации ремонта и консервации судов;

- методами анализа и назначения методов дефектации конструкций, систем, устройств, энергокомплексов электрооборудования и автоматики судов во взаимосвязи с их техническим состоянием;
- навыками выбора оптимального метода ремонта и консервации судов и оценки его технико-экономической эффективности для судовладельца и судоремонтного предприятия;
- методами расчета производительности воздухоосушительной установки, количество поглотителя влаги в адсорбере, мощность электрических воздухоподогревателей и конструктивные элементы адсорбера;
- методами расчета величины натекания атмосферного воздуха в консервируемый объем, поддержание заданного остаточного давления и быстроту действия вакуумного оборудования.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-3. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

СЛК-6. Уметь работать в команде.

ПК-3. Разрабатывать научно обоснованные планы конструкторско-технологических работ и управлять ходом их выполнения, включая обеспечение соответствующих служб необходимой технической документацией, материалами, оборудованием.

ПК-6. Размещать технологическое оборудование, техническое оснащение и организовывать рабочие места, рассчитывать производственные мощности и загрузку оборудования.

ПК-14. Профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы.

ПК-26. Взаимодействовать со специалистами смежных специальностей.

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования всего 280 ч., из них аудиторных – 150 часа;
- для заочной формы получения высшего образования всего 280 ч., из них аудиторных – 48 часов;

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.



Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
4	7	32	—	—	зачет
4	8	50	—	68	экзамен

Таблица 2.

Заочная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
5	9	16	—	8	зачет
5	10	16	—	8	экзамен

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Раздел I. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДНА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОРЕМОНТА**

#### **Тема 1. Основы старения машин**

Введение. Закономерности старения и изнашивания машин, скорость изнашивания. Методы количественной оценки износов. Основные показатели надежности машин и судовых конструкций.

#### **Тема 2. Техническая диагностика и дефектация судовых технических средств и конструкций**

Техническая диагностика СТСиК. Причины образования дефектов. Классификация дефектов. Дефектоскопия. Методы дефектоскопии. Дефектоскопия, основанная на измерениях. Технические средства неразрушающего контроля. Надзор за техническим состоянием судна, виды освидетельствования судов.

#### **Тема 3. Организация судоремонта, правила ремонта судов**

Общие положения. Классификация видов ремонта. Характеристика видов ремонта системы ППР. Модернизация и переоборудование судов. Характеристика неплановых ремонтов. Планирование ремонта судов. Особенности заключения договоров на ремонт судов. Стоимость ремонта судна. Договоры на судоремонт. Этапы ремонта судов. Подготовка к ремонту судов до постановки их на ремонт. Подготовка к ремонту судов в период и после постановки их на ремонт. Порядок постановки судов на ремонт. Приведение судов в зимовочное состояние. Сдача судов в ремонт, содержание и охрана судов во время ремонта. Проведение ремонта судов и приемка работ. Испытания и приемка судов из ремонта в эксплуатацию. Безопасность труда при работах.

#### **Тема 4. Судоремонтные предприятия и их структура**

Классификация судоремонтных предприятий. Структура и организация судоремонтного завода. Организация ремонта судна на судоремонтном заводе. Обслуживание судов в период ремонта. Технологическая подготовка судоремонтного производства. Особенности технологических процессов в машиноремонте. Единая система технологической подготовки производства. Типизация технологических процессов в машиноремонте.

### **Раздел II. ТЕХНОЛОГИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КОРПУСА СУДНА И СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

#### **Тема 5. Методы ремонта судов**

Методы ремонта корпусов судов. Методы ремонта судовых механизмов. Повышение эффективности методов судоремонта.

## **Тема 6. Восстановление и повышение срока службы деталей и корпуса судна**

Методы и способы восстановления деталей судовых технических средств. Способы упрочнения деталей. Использование эффекта избирательного переноса. Защита от коррозии. Технологическая документация на ремонт и изготовление деталей.

## **Тема 7. Корпус судна**

Техническое обслуживание. Способы и сооружения для обнажения подводной части судов при ремонте. Износы корпусных конструкций. Остаточные деформации и повреждения корпусов. Организация дефектации судов при ремонте. Обследование и оценка технического состояния корпусных конструкций. Ремонт корпусов судов заменой связей. Правка судовых конструкций. Ремонт корпусных конструкций подкреплением. Неметаллические покрытия при ремонте корпусов. Испытания корпусов после ремонта. Антикоррозионная защита корпусов судов при ремонте.

## **Тема 8. Судовые дизели**

Техническое обслуживание дизелей. Технологическая подготовка дизелей к ремонту. Структурная схема технологического процесса капитального ремонта судовых дизелей. Мойка и очистка деталей дизелей при ремонте. Ремонт деталей дизелей. Ремонт фундаментных рам судовых дизелей. Ремонт верхних картеров судовых дизелей. Ремонт блоков, моноблоков и крышек цилиндров. Ремонт коленчатых валов. Ремонт коленчатых валов механической обработкой. Ремонт втулок цилиндров. Ремонт поршней. Ремонт шатунов. Ремонт подшипников.

## **Тема 9. Судовой валопровод и его элементы**

Техническое обслуживание. Ремонт гребных винтов. Ремонт направляющих насадок. Статическое и динамическое уравнивание гребных винтов после ремонта. Модернизация гребных винтов при ремонте. Сборка винтов и гребных валов при ремонте. Судовой редуктор. Гидравлическая муфта

## **Тема 10. Судовые системы**

Техническое обслуживание судовых систем. Дефектоскопия и ремонт трубопроводов и арматуры. Требования Регистра к системам. Гидравлическая система.

# **Раздел III. КОНСЕРВАЦИЯ СУДОВ. МЕТОДЫ КОНСЕРВАЦИИ**

## **Тема 11. Консервация защитными смазками и маслами. Подготовка поверхностей перед консервацией**

Подготовка поверхностей перед консервацией. Подготовка масел и смазок. Технология применения масел и смазок.

## **Тема 12. Статическое осушение воздуха**

Влияние относительной влажности на коррозию. Способы осушения воздуха. Силикагель. Герметизация осушаемых объемов. Подготовка и процесс статического осушения воздуха.

### **Тема 13. Динамическое осушение воздуха**

Воздухоосушительные установки. Распределение воздуха по судовым помещениям. Особенности консервации материальной части при динамическом осушении воздуха. Контроль за состоянием материальной части и за работой воздухоосушительных установок.

### **Тема 14. Защитные атмосферы**

Получение защитных атмосфер. Применение защитных атмосфер для консервации. Вакуумная установка. Контроль за состоянием оборудования, законсервированного в среде защитных атмосфер.

### **Тема 15. Ингибиторы коррозии**

Классификация ингибиторов коррозии. Нелетучие и летучие контактные ингибиторы коррозии. Летучие ингибиторы коррозии. Способы применения ингибиторов коррозии.

### **Тема 16. Электрохимическая защита корпусов кораблей**

Сущность электрохимической защиты. Протекторная защита. Катодная защита. Электрокоррозия и борьба с ней.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**очная форма получения высшего образования**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСР	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия			
1	2	3	4	5	6	7
<b>7 семестр</b>						
<b>I</b>	<b>Оценка технического состояния судна и организация судоремонта</b>					
1.	Основы старения машин	3			[1–3,5]	
2.	Техническая диагностика и дефектация судовых технических средств и конструкций	8			[1–3,5]	
3.	Организация судоремонта, правила ремонта судов	6			[1–3,5]	
4.	Судоремонтные предприятия и их структура	3			[1-3]	
<b>II</b>	<b>Технология обслуживания и ремонта корпуса судна и судовых технических средств</b>				[1-7]	
5.	Методы ремонта судов	4				
6.	Восстановление и повышение срока службы деталей и корпуса судна	8				
	<b>Итого за семестр</b>	<b>32</b>	<b>–</b>			<b>зачет</b>
<b>8 семестр</b>						
7/	Корпус судна	10	10			
8.	Судовые дизели	8	10		[1-3,7,8]	
9.	Судовой валопровод и его элементы	6	8		[1-7]	
10.	Судовые системы	4	10		[1-3,5,7,]	
<b>III</b>	<b>Консервация судов. Методы консервации</b>					
11.	Консервация защитными смазками и маслами. Подготовка поверхностей перед консервацией	4	6		[1-3,4]	
12.	Статическое осушение воздуха	4	4		[1-3,4]	
13.	Динамическое осушение воздуха	4	6		[1-3,4]	

14.	Защитные атмосферы311	4	6		[1-3,4]	
15.	Ингибиторы коррозии	4	4		[1-3,4]	
16.	Электрохимическая защита корпусов кораблей	2	4		[1-3,4]	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>50</b>	<b>68</b>			<b>экзамен</b>
	<b>Всего аудиторных часов</b>	<b>150</b>				

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**заочная форма получения высшего образования**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия			
1	2	3	4	5	6	7
<b>7 семестр</b>						
<b>I</b>	<b>Оценка технического состояния судна и организация судоремонта</b>					
1.	Основы старения машин	2			[1–3,5]	
2.	Техническая диагностика и дефектация судовых технических средств и конструкций	4	2		[1–3,5]	
3.	Организация судоремонта, правила ремонта судов	2	2		[1–3,5]	
4.	Судоремонтные предприятия и их структура	2			[1-3]	
<b>II</b>	<b>Технология обслуживания и ремонта корпуса судна и судовых технических средств</b>				[1-7]	
5.	Методы ремонта судов	2				
6.	Восстановление и повышение срока службы деталей и корпуса судна	4	4			
	<b>Итого за семестр</b>	<b>16</b>	<b>8</b>			<b>зачет</b>
<b>8 семестр</b>						
7/	Корпус судна	2	1			
8.	Судовые дизели	2	2		[1-3,7,8]	
9.	Судовой валопровод и его элементы	2	1		[1-7]	
10.	Судовые системы	1	1		[1-3,5,7,]	
<b>III</b>	<b>Консервация судов. Методы консервации</b>					

11.	Консервация защитными смазками и маслами. Подготовка поверхностей перед консервацией	1	0,5		[1-3,4]	
12.	Статическое осушение воздуха	1	0,5		[1-3,4]	
13.	Динамическое осушение воздуха	1	0,5		[1-3,4]	
14.	Защитные атмосферы	2	0,5		[1-3,4]	
15.	Ингибиторы коррозии	2	0,5		[1-3,4]	
16.	Электрохимическая защита корпусов кораблей	2	0,5		[1-3,4]	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>16</b>	<b>8</b>			<b>экзамен</b>
	<b>Всего аудиторных часов</b>	<b>48</b>				

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Средства диагностики результатов учебной деятельности**

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время практических занятий;
- проведение текущих контрольных работ (заданий) по отдельным темам;
- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача зачета по дисциплине;
- сдача экзамена.

### **Перечень тем практических занятий**

1. Оценка надежности судовых механизмов на основе статистических данных.
2. Устройство и принцип работы технических средств неразрушающего контроля.
3. Дефектация вала методом линейных измерений.
4. Дефектация поршня методом линейных измерений.
5. Дефектация втулок методом линейных измерений.
6. Дефектация деталей керосино-меловым способом.
7. Составление ведомости дефектации.
8. Составление ремонтной ведомости.
9. Оформление маршрутно-технологической карты, карты эскизов.
10. Оформление актов дефектации, приемки судна в ремонт.
11. Оформление договора на ремонт судна.
12. Оформление актов приемки судна в техническую готовность, в эксплуатационную готовность.
13. Оформление акта сдачи судна в эксплуатацию.
14. Выбор оптимального материала и состава для подготовки поверхностей и нанесения защитных смазок.
15. Расчет количества адсорбента-поглотителя и время его восстановления.



16. Расчет производительности воздухоосушительной установки, количества поглотителя влаги в адсорбере, мощности электрических воздухоподогревателей и конструктивные элементы адсорбера.
17. Расчет величины натекаания атмосферного воздуха в консервируемый объем.
18. Выбор состава и определение необходимой концентрации ингибитора.
19. Выбор метода электрохимической защиты и определение величины напряжения источника тока.

**Перечень контрольных вопросов и заданий  
для самостоятельной работы студентов**

1. Основы старения машин
  - 1.1. Классификация отказов.
  - 1.2. Износ, скорость изнашивания, износостойкость.
  - 1.3. Методы количественной оценки износов.
  - 1.4. Основные показатели надежности машин.
2. Техническая диагностика и дефектация судовых технических средств и конструкций.
  - 2.1. Причины образования дефектов.
  - 2.2. Классификация дефектов.
  - 2.3. Методы дефектоскопии.
  - 2.4. Технические средства неразрушающего контроля.
3. Организация судоремонта, правила ремонта судов.
  - 3.1. Классификация видов ремонта.
  - 3.2. Характеристика видов ремонта системы ППР.
  - 3.3. Планирование ремонта судов.
  - 3.4. Этапы ремонта судов.
  - 3.5. Подготовка к ремонту судов до постановки их на ремонт.
  - 3.6. Порядок постановки судов на ремонт.
  - 3.7. Приведение судов в зимовочное состояние.
  - 3.8. Проведение ремонта судов и приемка работ.
  - 3.9. Испытания и приемка судов из ремонта в эксплуатацию.
4. Судоремонтные предприятия и их структура.
  - 4.1. Классификация судоремонтных предприятий.
  - 4.2. Структура и организация судоремонтного завода.
  - 4.3. Обслуживание судов в период ремонта.
  - 4.4. Особенности технологических процессов в машиноремонте.
  - 4.5. Типизация технологических процессов в машиноремонте.
5. Методы ремонта судов.
  - 5.1. Методы ремонта корпусов судов.
  - 5.1. Методы ремонта судовых механизмов.
6. Восстановление и повышение срока службы деталей и корпуса судна.
  - 6.1. Методы и способы восстановления деталей судовых технических средств.
  - 6.2. Способы упрочнения деталей.

- 6.3. Защита от коррозии.
- 7. Корпус судна.
  - 7.1. Техническое обслуживание корпуса судна.
  - 7.2. Способы и сооружения для обнажения подводной части судов при ремонте.
  - 7.3. Износы корпусных конструкций.
  - 7.4. Организация дефектации судов при ремонте.
  - 7.5. Ремонт корпусов судов заменой связей.
  - 7.6. Правка судовых конструкций.
  - 7.7. Ремонт корпусных конструкций подкреплением.
  - 7.8. Испытания корпусов после ремонта.
- 8. Судовые дизели.
  - 8.1. Техническое обслуживание дизелей.
  - 8.2. Технологическая подготовка дизелей к ремонту.
  - 8.3. Ремонт фундаментных рам судовых дизелей.
  - 8.4. Ремонт верхних картеров судовых дизелей.
  - 8.5. Ремонт блоков.
  - 8.6. Ремонт коленчатых валов.
  - 8.7. Ремонт коленчатых валов.
  - 8.8. Ремонт поршней.
  - 8.9. Ремонт шатунов.
  - 8.10. Ремонт подшипников.
- 9. Судовой валопровод и его элементы.
  - 9.1. Техническое обслуживание валопровода.
  - 9.2. Ремонт гребных винтов.
  - 9.3. Ремонт направляющих насадок.
  - 9.4. Сборка винтов и гребных валов при ремонте.
  - 9.5. Ремонт судового редуктора.
  - 9.6. Ремонт гидравлической муфты.
- 10. Судовые системы.
  - 10.1. Техническое обслуживание судовых систем.
  - 10.2. Дефектоскопия и ремонт трубопроводов и арматуры.
  - 10.3. Требования Регистра к системам.
- 11. Консервация защитными смазками и маслами. Подготовка поверхностей перед консервацией.
  - 11.1. Подготовка поверхностей перед консервацией.
  - 11.2. Технология применения масел и смазок.
- 12. Статическое осушение воздуха.
  - 12.1. Влияние относительной влажности на коррозию.
  - 12.2. Способы осушения воздуха.
  - 12.3. Процесс статического осушения воздуха.
- 13. Динамическое осушение воздуха.
  - 13.1. Воздухоосушительные установки.

- 13.2. Особенности консервации материальной части при динамическом осушении воздуха.
- 13.3. Контроль за работой воздухоосушительных установок.
- 14. Защитные атмосферы.
  - 14.1. Применение защитных атмосфер для консервации.
  - 14.2. Вакуумная установка.
  - 14.3. Контроль за состоянием оборудования, законсервированного в среде защитных атмосфер.
- 15. Ингибиторы коррозии.
  - 15.1. Классификация ингибиторов коррозии.
  - 15.2. Летучие ингибиторы коррозии.
  - 15.3. Способы применения ингибиторов коррозии.
- 16. Электрохимическая защита корпусов кораблей.
  - 16.1. Сущность электрохимической защиты.
  - 16.2. Протекторная защита.
  - 16.3. Катодная защита.

## **Список литературы**

### **Основная литература**

- 1. Белякин, О.К. Технология судоремонта: Учебник / О.К. Белякин, В.Н. Серых, В.В. Тарасов. – Москва: Транспорт, 1992. – 276 с.
- 2. Беньковский, Д.Д. Технология судоремонта: Учебник / Д.Д. Беньковский, В.П. Сторожев, В.С. Кондратенко. – Москва: Транспорт, 1986. – 199 с.
- 3. Кулик, Ю.Г. Технология судостроения и судоремонта: Учебник / Ю.Г. Кулик, В.В. Сумеркин. – Москва: Транспорт, 1988. – 296 с.
- 4. Консервация корабля / К.В. Насонов [и др.]. – М.: Воениздат мин. обор. СССР, 1962. – 416 с.
- 5. Маницин, В.В.–Технология ремонта судов рыбопромыслового флота: Учебник/ В.В. Маницин.– Москва: Колос, 2009 – 541с.
- 6. Сумеркин, Ю.В. Технология судоремонта: учебник / Ю.В. Сумеркин. – СПб.: СПГУВК, 2001. – 271 с.

### **Дополнительная литература**

- 7. Блинов, Э.К. Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию / Э.К. Блинов, Г.Ш. Розенберг. – СПб.: Судостроение, 1992. – 300 с.
- 8. Спиридонов, Ю.Н. Ремонт судовых дизелей / Ю.Н. Спиридонов, Н.Ф. Рукавишников. – Москва: Транспорт, 1989. – 253с.
- 9. Журавлев, В.П. Технология ремонта деталей судовых дизелей: уч. пособие / В.П. Журавлев. – СПб.: СПГУВК, 2000. – 121 с.

10. Технология судоремонта. Обеспечение работоспособности изношенных коленчатых валов среднеоборотных дизелей: учебное пособие / В.П. Журавлев. – СПб.: СПГУВК, 2005. – 58 с.
11. Василенев, Ю.С. Ремонт судового электрооборудования / Ю.С. Василенев, Г.В. Егоров. – Москва: Транспорт, 1992. – 243 с.
12. Чиняев, И.А. Эксплуатация насосов судовых систем и гидроприводов / И.А. Чиняев. – Москва: Транспорт, 1975. – **160 с.**